This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

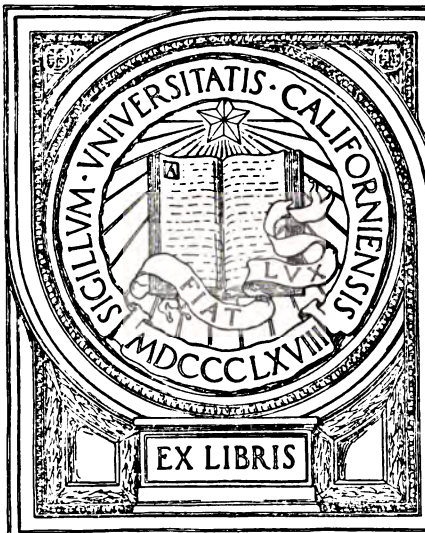
About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

TC
763
H5

Digitized by Google

GIFT OF
George Davidson
1825-1911



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

NOTICE

SUR

LES ÉLÉVATEURS ET PLANS INCLINÉS

POUR CANAUX,

PAR

M. J. HIRSCH,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXI.

Digitized by Google

Davidson [illegible]

Digitized by Google

TC 763
H5

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

PRINCIPAUX OUVRAGES À CONSULTER IX

AVERTISSEMENT XIII

INTRODUCTION.

Des écluses à sas 1
Inconvénients des écluses 4
Influence des écluses sur les dépenses de construction 4
Influence des écluses sur les frais de transport 5
Influence des écluses sur le touage 7
Avantages des élévateurs à grande portée 7

PARTIE HISTORIQUE.

Canal de Ketley 9
Canal de Shropshire 11
Canaux souterrains de Worsley 13
Projets divers 15
Canal du Creusot 16
Système de Bétancourt 17
Système de Solages 18
Projet de Montet 20
Autres plans inclinés et élévateurs 21

PARTIE DESCRIPTIVE.

PLANS INCLINÉS DU CANAL MORRIS 26
Tracé du canal 26
Plan incliné n° 21. — Dispositions générales 27
Sas supérieurs 28
Dispositions diverses 29
État actuel 30

M542476

Digitized by Google

Pages.

Plans inclinés du canal de l'Oberland (Prusse) 32

Tracé du canal 32
Dispositions générales des plans inclinés 34
Chariots roulants 34
Voies de fer 35
Câbles 36
Mécanisme 37
Manœuvres 38
Additions récentes 39

Plan incliné de Blackhill 39

Dispositions générales 39
Principaux détails 41

Plan incliné de Georgetown 43

Dispositions générales 43
Sas mobile 44
Roues et chariots du sas mobile 46
Jonction avec la tête du bief 47
Wagons-contrepoids 47
Câbles 48
Voies 48
Mécanisme 49
Manœuvres 50
Observations diverses 50
État actuel du plan de Georgetown 52

Élévateur du Grand-Western-Canal 55

Description générale 55
Sas mobiles 56
Maçonneries 57
Mécanisme 57
Manœuvres 58

Élévateur hydraulique d'Anderton 60

Canal de Trent et Mersey 60
Dispositions générales 61
Dimensions principales 63
Sas mobiles 63
Presses hydrauliques 64

Digitized by Google

Pages.
Pont-canal 65
Guidage 66
Portes et joints 68
Accumulateur et machines 69
Déversoirs régulateurs 70
Dispositions diverses 71
Fonctionnement et manœuvres 72
Observations diverses 74

RÉSUMÉ.

Les élévateurs mécaniques comparés aux écluses à sas 77
Question de la dépense d'eau 78
Question du temps perdu 79
Questions diverses 82
Comparaison des divers systèmes 84
Échouage à sec 84
Sas mobiles 85
Élévateurs verticaux mécaniques 86
Élévateurs hydrauliques 87
Plans inclinés 88

LÉGENDES.

Plans inclinés du canal Morris (pl. I) 91
Plans inclinés du canal de l'Oberland (pl. II) 94
Plans inclinés du canal de l'Oberland (pl. III) 95
Plan incliné de Georgetown (pl. IV) 96
Plan incliné de Georgetown (pl. V) 98
Élévateur du Grand-Western-Canal (pl. VI) 99
Élévateur hydraulique d'Anderton (pl. VII) 100

Digitized by Google

Digitized by Google

PRINCIPAUX OUVRAGES À CONSULTER.

Annales industrielles. Paris, Cassagne, directeur, 1876, col. 649, 678, 720 et pl. XCV et XCVI. Sas élévateur hydraulique à Anderton, sur la Weaver.

American Engineering at the Paris Exposition of 1878, p. 96. — *Drawings of inclined Plane and Caisson Connecting the Chesapeake and Ohio Canal with the Potomac River at Georgetown, D. C. Williams R. Hutton, Engineer.* Avec un dessin.

Zeitschrift für Bauwesen. Berlin, Ernst et Korn, 1861, p. 150. — *Der Elbing oberländische Canal,* par M. Schmidt, pl. G, G*g* et 2*g*.

Zeitschrift für Bauwesen. Berlin, Ernst et Korn, 1879, p. 50 et atlas, pl. X, et XI. — *Die Dodgeschleuse am Chesapeake Ohio Canal.* Rapport de mission, par MM. Schönfelder et Mohr.

Annual Reports of the Chief of Engineers to the Secretary of War, Washington, government printing. Ann. 1874, première partie, p. 550. Détails sur les plans inclinés et leur application projetée au canal de Chesapeake and Ohio. Rapport supplémentaire de M. Thomas Sedgwick.

Annales des Ponts et Chaussées, 1837, 2e sem., p. 1. Analyses et extraits : 1° des Lettres sur l'Amérique du Nord, de M. Michel Chevalier; 2° de deux ouvrages de M. Poussin, par M. H.-C. Emmery, p. 61; description sommaire du canal Morris et des plans inclinés; pl. CXXXIV, profil en long du canal.

Annales des Ponts et Chaussées, 1839, 2e sem., p. 141. — *Travaux publics de l'Amérique du Nord.* Traduction des observations de David Stevenson, par H.-C. Emmery, p. 174; description du canal Morris, avec dessin du chariot, pl. CLXXVI.

Annales des Ponts et Chaussées, 1843, 1er sem., p. 164. — *Canaux souterrains de Worsley,* près Manchester. Détails extraits du Mémoire de MM. Henri Fournel, ingénieur des mines, et Isidore d'Yèvre, ingénieur civil. (Paru en 1842.)

Digitized by Google

Annales des Ponts et Chaussées, 1843, 2e sem. Histoire et description des voies de communication aux États-Unis, par Michel Chevalier. Analyses et extraits par Léon Lalanne, p. 309, et pl. LVII. Description et dessins des plans inclinés du canal Morris.

Annales des Ponts et Chaussées, 1877, 1er sem., p. 361, et pl. III. Plan incliné de Blackhill, sur le canal de Monkland (Écosse). Note par M. Cartault, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Transactions of the Institution of Civil Engineers. London, John Weale, 1838, p. 185, et pl. XVI, XVII, XVIII. — *Description of the Perpendicular Lifts for passing Boats from one level of canal to another as erected on the Grand Western Canal*, by James Green.

Minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers. London, vol. XIII, 24 janvier 1854, p. 205. — *Description of an Inclined Plane for conveying Boats over a summit to and from different levels of a Canal* (plan incliné de Blackhill), par James Leslie; suivie d'une discussion.

Minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers. London, vol. XLV, 21 mars 1876, p. 107. — *Hydraulic canal Lift at Anderton, on the River Weaver*, par M. Sydengham Duer; suivi d'une discussion.

Barrow (John) esq., late private secretary of the Earl of Macartney. *Travels in China*. Londres, Cadell and Davies, in the Strand, 1804.

E. Bellingrath. *Studien über Bau- und Betriebs-Weise eines Deutschen Kanalnetzes*. Berlin, Ernst et Korn, 1879. Avec atlas.

De Bétancourt. *Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure*, présenté à l'Institut national de France, 1807; suivi d'un Rapport signé *Bossut, Monge* et *de Prony*. Avec planches.

Berthet, Ingénieur des Ponts et Chaussées. Mission en Angleterre. — *Ascenseur hydraulique d'Anderton*. Valenciennes, 27 janvier 1880 (autographié).

Bertin, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. — *Rapport sur l'ascenseur hydraulique d'Anderton*. Douai, 26 février 1879 (manuscrit).

L. Deschamps de Pas. *Ce que c'était qu'un overdrach* (manuscrit).

Michel Chevalier. *Lettres sur l'Amérique du Nord*. Paris, Charles Gosselin, 1836, t. II, p. 91. Quelques mots sur le canal Morris. — *Histoire et description des voies de communication aux États-Unis*, 2 vol. avec grand atlas, Paris, Charles Gosselin, 1841, t. II, p. 476, et pl. XII et XIII. Description complète et détaillée du canal Morris et de ses plans inclinés. — *Plan incliné du canal Morris*. Extrait du 2e volume de la *Revue générale de l'architecture*

Digitized by Google

et des travaux publics (Paris, Paulin et Hetzel, 1841). Une plaquette avec planche. C'est, à peu de chose près, un extrait textuel de l'ouvrage du même auteur sur les voies de communication aux États-Unis.

J. Cordier. *Histoire de la navigation intérieure,* 2 vol. Firmin-Didot, 1819, Le tome I est une traduction de l'ouvrage anglais de Philips, avec introduction du traducteur; il traite en particulier de la navigation intérieure en Angleterre. Le tome II est spécialement consacré aux canaux des États-Unis, et contient la traduction de plusieurs documents sur ce sujet.

J. Dutens. *Mémoire sur les travaux publics d'Angleterre.* Paris, imprimerie Royale, 1819. — *Histoire de la navigation intérieure de la France.* Paris, Sautelet et Alex. Mesnier, 1829.

Francis-Henry Egerton. *Description du plan incliné souterrain exécuté par Francis Egerton, duc de Bridgewater (plan de Worsley).* Paris, au bureau des *Annales des Arts et Manufactures,* 1812.

Fénoux. *Journal de mission en Angleterre, Belgique et Hollande, 1856* (manuscrit). Ce journal contient la description du plan incliné de Blackhill, sur le canal de Monkland.

Robert Fulton. *Recherches sur les moyens de perfectionner les canaux de navigation et sur les nombreux avantages des petits canaux,* traduites de l'anglais. Paris, Dupain-Triel, libraire, cloître Notre-Dame, n° 1, an vii.

Gauthey. *Mémoires sur les canaux de navigation, et particulièrement sur le canal du Centre,* publiés par Navier. Paris, Firmin Didot, 1816.

Girard. *Précis historique sur la navigation intérieure,* lu dans la séance publique de l'Académie royale des sciences, le 16 mars 1818.

G. Hagen. *Handbuch der Wasserbaukunst,* 3e édition. Berlin, Ernst et Korn, 1874. Avec atlas.

The History of Inland Navigations, particularly that of the Duke of Bridgewater, the third édition with additions. London, printed for T. Lowndes, in Fleet street, 1779.

Malézieux. *Travaux publics des États-Unis d'Amérique en 1870.* Rapport de mission. Paris, Dunod, 1873. — *Cours de navigation intérieure,* professé à l'École des Ponts et Chaussées, 1876-1877. Une partie seulement du texte a été autographiée. L'atlas est fort complet.

Mary. *Appendice au cours de navigation* professé à l'École des Ponts et Chaussées, 1843-1844. Texte autographié et atlas.

Digitized by Google

De Mas et Vétillart, Ingénieurs des Ponts et Chaussées. *Appareil hydraulique d'Anderton.* 5 février 1879 (manuscrit).

Huerne de Pommeuse. *Des canaux navigables.* Paris, Bachelier-Huzard-Gied, janvier 1822.

Guillaume-Tell Poussin. *Travaux d'améliorations intérieures* projetés ou exécutés par le Gouvernement général des États-Unis d'Amérique. Paris, Anselin et Carilian Gœury, 1834.

Quinette de Rochemont, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. *Mission en Angleterre* (*élévateur d'Anderton*). Valenciennes, 11 février 1880 (autographié). — *Note sur les plans inclinés pour canaux de navigation.* Valenciennes, 23 février 1880 (autographié).

Sganzin et Reibell. *Programme d'un cours de construction.* Ouvrage de feu M. J. Sganzin, 4e édition, refondue et augmentée par M. Reibell. Paris, Carilian Gœury et Victor Dalmont, 1840.

De Solages. *Description d'un sas mobile* inventé par M. de Solages, montant et descendant alternativement le long d'un plan incliné. Extrait des Bulletins de la Société d'encouragement, n° 55.

Digitized by Google

AVERTISSEMENT.

Sur les canaux français, les écluses à sas sont les seuls appareils en usage, pour racheter les différences de niveau entre les biefs consécutifs. Il n'en est pas toujours de même à l'étranger. Plusieurs Ingénieurs des Ponts et Chaussées ont rapporté de leurs voyages en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne, des descriptions fort intéressantes d'appareils variés, remplaçant, et dans certains cas avec grand avantage, les écluses à sas, et permettant à un bateau de franchir rapidement des hauteurs parfois considérables. Au moment où des projets de canaux s'élaborent sur divers points de notre territoire, il a paru opportun d'appeler l'attention des Ingénieurs chargés des études, sur ces dispositifs assez peu connus, et de mettre entre leurs mains des documents qui puissent les aider à étudier ces machines, et, au besoin, à en préparer des applications nouvelles.

Tel est l'objet de cette courte notice. Ce n'est pas, à beaucoup près, un traité complet sur la matière; elle a simplement pour objet de mettre à la portée des Ingénieurs des renseignements qui leur évitent des recherches laborieuses.

Digitized by Google

On ne trouvera, dans ces quelques pages, ni descriptions détaillées, ni discussions approfondies, mais des indications sommaires, avec l'examen succinct des propriétés et dispositions essentielles des principaux appareils en question. Pour avoir des informations plus complètes sur des points déterminés, on devra recourir aux ouvrages originaux, qui sont mentionnés dans l'*Index bibliographique* et dans les renvois au bas des pages.

La plupart de ces ouvrages existent à la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées, où ils sont mis à la disposition des Ingénieurs qui désirent les consulter; les *Annales des Ponts et Chaussées* en ont reproduit d'ailleurs des extraits étendus et fort intéressants.

Ces ouvrages ont fourni, pour la plus grande part, la matière de la présente étude, qui a été complétée au moyen de renseignements de diverses provenances; il a été surtout largement fait usage des excellents rapports de mission rédigés par MM. Bertin et Quinette de Rochemont, Ingénieurs en chef, Berthet, de Mas et Vétillart, Ingénieurs ordinaires des Ponts et Chaussées, ainsi que des documents rapportés par MM. Fontaine, Ingénieur en chef, et Desmur, Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

La division du sujet est fort simple. Comme introduction, nous rappelons les propriétés principales des écluses à sas, et les circonstances dans lesquelles il devient désirable de les remplacer par des appareils plus complets. Puis vient un résumé historique de la question des plans inclinés et des élévateurs. Dans la partie

Digitized by Google

descriptive proprement dite, nous n'insistons que sur quelques appareils, qui ont fonctionné d'une manière réellement pratique, et pendant assez longtemps, pour que l'épreuve puisse être considérée comme concluante; nous avons cru devoir donner plus de développement aux points sur lesquels les renseignements ne sont pas à la portée de tout le monde. Nous terminons par un court résumé comparatif des différents systèmes.

Nous espérons que cette notice, bibliographique plutôt que technique, rendra quelques services, à titre de catalogue, aux Ingénieurs chargés des études de canaux.

Novembre 1880.

Digitized by Google

Digitized by Google

NOTICE

SUR

LES ÉLÉVATEURS ET PLANS INCLINÉS

POUR CANAUX.

INTRODUCTION.

Des écluses à sas. — Les écluses à sas, inventées par Philippe Visconti [1] et importées en France par Léonard de Vinci vers 1480, furent appliquées pour la première fois dans notre pays, vers le milieu du XVIe siècle, à la canalisation de la Vilaine [2].

Les canaux construits jusqu'alors n'avaient eu pour objet que de faciliter la navigation sur les cours d'eau naturels, en tournant les passages difficiles au moyen de dérivations: c'étaient des canaux *latéraux*. L'invention des écluses à sas permit de réaliser des entreprises plus hardies: on songea à faire passer les bateaux, sans rompre charge, par-dessus les faîtes séparant deux bassins voisins, à faire communiquer ainsi les différentes mers par des lignes navigables continues.

(1) *Ann.* 1847, 1er sem., p. 197.
(2) F. Lucas, p. 84.

Digitized by Google

Le premier canal à point de partage qui ait été exécuté, le canal de Briare, commencé sous l'impulsion de Sully par Hugues Crosnier, fut exécuté (1642) par Guillaume Boutheroue et Jacques Guyon [1]; quelques années après (1677), le grand ouvrage de Riquet, le canal du Languedoc, qui réunit l'Océan à la Méditerranée, était à son tour ouvert à la navigation [2].

Ces audacieuses tentatives, couronnées d'un succès complet, ne tardèrent pas à être imitées, et un réseau de canaux s'étendit rapidement dans différentes parties de l'Europe. Au commencement du siècle actuel, les États-Unis d'Amérique suivirent à leur tour l'impulsion, et apportèrent à la création de leurs voies navigables l'activité féconde et énergique qui caractérise toutes les entreprises de ce jeune peuple.

Le même système général de construction fut universellement adopté : toute ligne navigable artificielle se composa de biefs horizontaux, échelonnés en gradins, et raccordés par des écluses à sas de 2 à 4 mètres de chute. Ces écluses ne diffèrent que par des détails secondaires des types primitifs de Visconti ou de Boutheroue : c'est toujours un bassin compris entre deux portes étanches percées de ventelles.

A l'époque dont nous parlons, les transports sur les canaux ainsi établis, comparés aux transports par routes de terre, offraient des avantages économiques si énormes, qu'on ne songeait guère à de nouvelles améliorations. D'ailleurs l'écluse à sas est un appareil simple et rustique, d'un fonctionnement sûr, même quand il est en médiocre état, facile

[1] H. de Pommeuse, p. 194 et suiv.
[2] H. de Pommeuse, p. 245 et suiv.

Digitized by Google

à entretenir et à réparer. On l'appliqua à tous les cas possibles, en faisant au besoin plier les tracés des voies navigables aux exigences de l'appareil.

Lorsque les pentes du terrain sont douces, comme dans le fond des vallées, la hauteur rachetée par chaque écluse correspond à une grande longueur de bief. Mais il en est autrement quand les déclivités du profil en long sont un peu raides : alors les biefs sont courts, les écluses se multiplient, la construction devient très coûteuse, et les bateaux, arrêtés à chaque pas, ne cheminent plus qu'avec une extrême lenteur.

Mais les avantages généraux du système sont tellement importants, qu'on a été parfois amené à lui donner une extrême extension; ainsi l'on voit, sur un assez grand nombre de canaux, des échelles d'écluses accolées immédiatement à la suite l'une de l'autre, sans intercalation de biefs intermédiaires. Cette disposition est déplorable à tous les points de vue; elle entraîne une dépense d'eau inutile, cause aux bateaux une perte de temps considérable, et réduit dans une large mesure la capacité de trafic. On peut, il est vrai, sur les canaux très fréquentés, doubler l'échelle et construire le passage à deux voies, et il a bien fallu dans certains cas accepter cette solution; mais elle est toujours extrêmement coûteuse et n'obvie qu'à une partie des inconvénients.

Enfin, il est des circonstances où l'écluse à sas devient tout à fait impuissante. Ainsi lorsque la hauteur à franchir est un peu grande, le nombre des écluses serait tel, que la construction entraînerait des dépenses inacceptables, et que le trafic ne se ferait plus qu'avec une lenteur extrême. D'ailleurs, même pour des chutes modérées, les conditions

Digitized by Google

locales ne se prêtent pas partout à l'établissement des écluses.

C'est ainsi que, vers la fin du siècle dernier, on a été conduit à chercher quelque appareil pouvant remplir les mêmes fonctions que l'écluse ordinaire. En Angleterre on a exécuté plusieurs plans inclinés, et depuis lors cet exemple a été imité sur divers canaux, aux États-Unis et en Allemagne.

Inconvénients des écluses. — Ces solutions n'ont été acceptées jusqu'ici qu'à titre tout à fait exceptionnel. On peut se demander cependant s'il n'y aurait pas intérêt à en étendre davantage les applications. Il convient de remarquer que la question de la navigation artificielle ne se pose plus, de nos jours, dans les mêmes termes qu'au siècle dernier. Les mœurs, les besoins, les ressources, les procédés de construction, les habitudes commerciales ont subi des transformations profondes, qui doivent nécessairement se refléter dans la construction des canaux.

Il ne sera pas hors de propos de rappeler les données du problème nouveau, qui s'impose chaque jour d'une manière plus impérieuse, et d'examiner si l'écluse à sas peut toujours le résoudre d'une manière satisfaisante, si elle constitue le seul procédé admissible pour franchir les différences de niveau qui se rencontrent dans les tracés des canaux.

Le système adopté pour racheter les pentes d'une voie navigable exerce en effet une influence considérable, aussi bien sur les dépenses de construction que sur celles d'exploitation.

Influence des écluses sur les dépenses de con-

Digitized by Google

struction. — Les dépenses de construction d'un canal se répartissent entre deux chapitres principaux : ouvrages de la ligne navigable proprement dite, et ouvrages pour l'alimentation.

L'alimentation d'un canal se divise, à son tour, en alimentation principale au bief de partage, et alimentation secondaire le long des versants. L'alimentation principale nécessite presque toujours des travaux difficiles et fort dispendieux. Elle doit en effet subvenir, non seulement aux pertes de toute nature, de concert avec les prises d'eau réparties sur les versants, mais encore à la totalité de la dépense d'eau correspondant au volume des éclusées que les bateaux consomment en traversant le bief de partage. Les difficultés de cette alimentation sont d'ordinaire fortement aggravées par l'altitude considérable des biefs de partage et, par suite, la faible étendue des bassins qui peuvent y verser leurs eaux.

Les dépenses importantes qui s'accumulent ainsi autour de chaque point culminant réagissent à leur tour sur les conditions d'établissement de la voie navigable proprement dite, et donnent à son profil en long une certaine rigidité : on évite, autant qu'on le peut, de multiplier les biefs de partage; mais ce résultat n'est le plus souvent obtenu qu'au prix de fortes dépenses et d'un allongement notable du parcours.

Il est inutile d'ailleurs d'ajouter que la présence de nombreuses écluses augmente beaucoup les frais de construction du canal proprement dit.

Influence des écluses sur les frais de transport. — Au point de vue de l'exploitation la question présente un intérêt fort sérieux.

Digitized by Google

Sur les canaux de grand gabarit, le sassement d'un bateau, y compris les manœuvres accessoires, ne dure guère moins de 20 minutes, et souvent beaucoup plus. Quand le halage se faisait à bras, à raison de 2 kilomètres environ à l'heure, une écluse ne représentait, comme temps perdu, que 600 à 800 mètres de canal; mais, pour un service régulier ou accéléré avec traction de chevaux, qui donne une vitesse de 4 kilomètres et plus en plein bief, c'est une longueur de 1,200 mètres à 2 kilomètres; pour le touage à vapeur, la proportion serait encore plus forte. Or, sur les canaux français, l'espacement des écluses n'est en moyenne que de 2,500 mètres [1], et, sur certaines lignes, les écluses sont beaucoup plus serrées. On voit que la durée du voyage est facilement doublée ou triplée par le fait même des éclusages multipliés.

Il est vrai que l'on ne demande pas aux transports par eau la rapidité, qui est l'apanage des transports par chemin de fer: une voie navigable doit avant tout procurer des transports à bon marché, sans cela elle n'aurait plus aucune raison d'être. Mais la lenteur du cheminement exerce une influence considérable sur le prix du fret. En effet, ce prix comprend non seulement les frais de traction, à peu près proportionnels au chemin parcouru, mais encore les frais généraux, salaires du personnel, intérêt et amortissement du matériel, etc., qui constituent la majeure partie du prix total, et ces frais généraux sont proportionnels à la durée. Toute perte de temps se traduit donc immédiatement par une perte d'argent; et la dépense par voyage croît très vite avec le temps employé à le faire. Quant à augmenter beau-

[1] F. Lucas. Longueur totale des canaux français, 4,753^{k},9; nombre de biefs, 1,955; d'où longueur moyenne d'un bief, 2^{k},43.

Digitized by Google

coup la vitesse de marche en plein bief, ce qu'on gagnerait ainsi serait peu de chose, en présence de la perte de temps constante et inévitable au passage des écluses.

Influence des écluses sur le touage. — Ces considérations, qui ont une grande valeur lorsqu'il s'agit de la traction par chevaux, prennent une importance capitale si l'on a en vue le halage à vapeur. Ici, les dépenses kilométriques, qui ne comprennent guère que le prix du charbon brûlé, disparaissent, pour ainsi dire, devant les frais proportionnels au temps : le système moteur, constitué par la machine, la transmission et la chaîne ou la voie, est un outil très cher, qui coûte beaucoup d'intérêts et d'amortissement, et ne travaille avec économie qu'autant qu'il travaille d'une manière continue.

On peut dire que tous les efforts tentés, dans ces dernières années, pour diminuer le prix du fret sur les canaux, en augmentant le cheminement journalier, et notamment pour substituer la traction mécanique à la traction animale, sont venus échouer contre les obstacles qu'opposent la longue durée du sassement et la multiplicité des écluses.

Avantage des élévateurs à grande portée. — Ces difficultés prennent une grande gravité quand le trafic est actif, l'eau rare et le pays accidenté. Plus d'une fois déjà, et nous en verrons des exemples, elles se sont dressées comme des obstacles insurmontables, et ont fait renoncer les ingénieurs du plus grand mérite à proposer la construction de voies navigables d'une incontestable utilité. Mais aujourd'hui, en présence de l'activité qu'ont prise les transactions et de la concurrence menaçante des industries

Digitized by Google

étrangères, la question des transports à bon marché devenant chaque jour plus impérieuse, les anciens projets de canaux sont repris et étudiés à nouveau; leur réalisation apparaît comme nécessaire, dût le tracé parcourir des régions montagneuses. Dans bien des cas pareils, l'écluse à sas offrirait une solution tout à fait défectueuse, et le système mécanique devient à peu près l'unique ressource.

On voit immédiatement que la difficulté disparaîtrait, si l'on disposait d'un engin qui permît d'augmenter largement les différences de niveau entre deux biefs consécutifs, et de porter rapidement et en une seule fois le bateau du fond de la vallée sur la crête du plateau voisin.

Ce problème n'a pas, jusqu'à ce jour, été résolu dans toute sa généralité, peut-être par cette raison que les besoins auxquels il répond n'ont acquis que depuis quelques années toute leur intensité; mais il ne semble, à première vue, nullement inabordable aux puissants moyens dont dispose aujourd'hui l'art des constructions mécaniques. Une solution vraiment pratique aurait sans nul doute une influence sérieuse sur le tracé de nos nouveaux canaux et sur notre système de navigation intérieure.

Nous allons décrire sommairement quelques-uns des plans inclinés et élévateurs qui ont fonctionné sur divers canaux, en commençant par un historique rapide de la question.

Digitized by Google

PARTIE HISTORIQUE.

Le portage où le traînage des pirogues a dû être pratiqué à toute époque par les navigateurs primitifs, pour franchir les rapides que présentent les cours d'eau naturels. De là au hissage sur des plans inclinés, il n'y a qu'un pas. Ce dernier procédé a été appliqué par les Chinois, depuis une époque qui semble fort reculée, sur le réseau très considérable de canaux artificiels qui couvre la surface du Céleste-Empire[1]; l'appareil se compose de deux glacis d'inégales hauteurs, opposés par le sommet, couverts d'une chaussée pavée, et dont les pieds plongent de part et d'autre dans les deux biefs à raccorder; le bateau est hissé sur l'un des plans au moyen de cabestans et à grand renfort de bras; puis, arrivé au sommet, il est lancé sur la pente du second glacis, pour retomber dans le bief suivant.

Canal de Ketley. — Le premier plan incliné pour canaux que l'on puisse citer comme ayant fonctionné d'une manière pratique et satisfaisante, est celui qui fut construit, en 1788, sur le canal de Ketley, en Angleterre, par Williams Reynold[2], propriétaire des forges de Ketley.

[1] Cordier, t. I, p. 34 et suiv. — Fulton, p. 8. — H. de Pommeuse, pl. XI, et note indicative, p. 6.; — *Min. of proceeding*, t. XIII, p. 209. — Barrow, p. 512 et suiv.

[2] Cordier, t. I, p. 214. — H. de Pommeuse, p. 129. — Fulton, p. 12. — Dutens, *Travaux publics d'Angleterre*, p. 33 et suiv.

Digitized by Google

Pour réunir ses usines aux mines des Oaken-Gates, Reynold construisit un petit canal composé d'un bief horizontal de 1 mille $\frac{1}{2}$ (2,400 mètres) de longueur et terminé par un plan incliné rachetant la hauteur de 73 pieds ($22^{m},25$), différence de niveau entre ce bief et le canal de Shropshire.

La longueur du plan incliné est de 204 mètres; il est armé de deux voies de fer, sur chacune desquelles roule un chariot porté par quatre roues en fonte; les deux chariots sont tirés par des câbles s'enroulant en sens inverse sur un treuil placé au sommet du plan, de telle sorte que l'un monte, quand l'autre descend; un bateau se place sur chaque chariot, et, comme le trafic se fait presque tout entier à la descente, c'est toujours le bateau descendant qui est le plus chargé et qui détermine automatiquement le mouvement; la vitesse est modérée au moyen d'un frein à frottement agissant sur le treuil.

Le chargement des bateaux sur la plate-forme des chariots se fait de la manière suivante : le bief supérieur se termine par une écluse à sas, dont le radier est sur le prolongement du plan incliné; le chariot est amené dans le sas, la porte d'aval est fermée; puis on remplit le sas et l'on y introduit un bateau venant du bief, qu'on amarre au-dessus du chariot; on vide alors le sas, et le bateau vient reposer sur la plate-forme roulante. La manœuvre dans le bas est encore plus simple : le plan incliné se prolonge jusque dans le bief inférieur; le chariot étant immergé, le bateau est amené au-dessus et amarré; le mouvement du chariot, qui s'élève progressivement sur le pied du plan incliné, suffit pour faire porter le fond du bateau sur la plate-forme.

Digitized by Google

Nous verrons ces dispositions reproduites dans plusieurs installations importantes.

Les bateaux circulant sur le canal de Ketley avaient $6^m,10$ de long, $1^m,93$ de large et $1^m,17$ de creux. Leur charge moyenne était de 8 tonnes.

A l'époque où Dutens visita l'Angleterre (1818), le plan du canal de Ketley avait été abandonné.

Canal de Shropshire. — La réussite complète de ce petit plan incliné amena, en fort peu de temps, l'application du système à d'autres cas, et notamment sur le canal de Shropshire[1], auquel celui de Ketley vient se souder, et qui fut commencé en 1788, et terminé en 1792.

Ce canal sur une longueur de 7 milles $\frac{3}{4}$ (12,500 mètres) se compose de quatre biefs horizontaux, raccordés par trois plans inclinés.

Les longueurs et hauteurs de ces plans sont les suivantes :

	Longueurs.	Hauteurs.
Plan de Donningtonwood...	$292^m,55$	$36^m,57$
Plan de Windmillfarms....	548 64	38 40
Plan de Hay.....	320 40	63 09
PENTE TOTALE.....		$138^m,06$

Pour racheter une pente pareille, il eût fallu 46 écluses de 3 mètres de chute.

Les plans inclinés du canal de Shropshire ne diffèrent pas, en principe, de ceux du canal de Ketley. Ce sont toujours

[1] Cordier, t. I, p. 215. — H. de Pommeuse, p. 131. — Sganzin et Reibell, t. II, p. 141 et suiv. — Mary, p. 35 et atlas. — Malézieux, atlas, pl. XCVI. — Dutens, *Travaux publics d'Angleterre*, p. 40 et suiv.

Digitized by Google

deux chariots roulant sur des voies parallèles, et dont les poids s'équilibrent au moyen de cordes s'enroulant en sens inverse autour d'un treuil commun. Mais une disposition nouvelle, rappelant celle usitée chez les Chinois, a été adoptée pour remplacer l'écluse à sas placée au haut du plan de Ketley. Le sommet du plan incliné s'élève un peu au-dessus du plan d'eau du bief d'amont, et passe par-dessus le bajoyer qui forme la tête de ce bief; puis la voie ferrée se continue par une contre-pente, dont le pied plonge assez profondément dans le même bief. Le chariot montant s'élève jusqu'au sommet, le franchit, descend la contre-pente, et s'immerge dans le bief supérieur, en abandonnant le bateau qu'il porte, et qui se met à flot dès que l'immersion du chariot est suffisante.

Cette disposition, dont nous retrouverons d'autres exemples, a pour avantage de supprimer l'écluse supérieure, avec la manœuvre des portes et des ventelles, ainsi que la dépense d'eau qui en résulte. Mais elle n'est pas sans présenter quelques inconvénients. Ainsi, au départ, au moment où il s'agit de remonter le bateau avalant sur la contre-pente, il faut nécessairement employer une puissance motrice assez grande; le système n'est donc plus, comme à Ketley, complètement automoteur. Sur le canal de Shropshire, c'est une machine à vapeur qui met l'appareil en mouvement, et des dispositions fort ingénieuses sont prises pour faciliter les manœuvres.

Les bateaux portent de 5 à 8 tonnes et ont à peu près les mêmes dimensions que ceux qui fréquentent le canal de Ketley; ils mettent 3 minutes $\frac{1}{2}$ à franchir la hauteur totale de 63 mètres du plan de Hay, et il en passe quelquefois jusqu'à cent dans une journée. (Dutens.)

Digitized by Google

Canaux souterrains de Worsley. — Le système en question a reçu une application d'une originalité extrême, pour l'exploitation des mines de houille de Walkden Moor, près de Worsley, dans le Lancashire [1].

La conception et l'exécution de ce travail remarquable sont dues à Francis Egerton, duc de Bridgewater, dont l'initiative intelligente et audacieuse a imprimé la plus vive impulsion au développement des voies navigables en Angleterre.

Pour mettre en valeur les houillères de Worsley, dont il était propriétaire, et qui étaient restées jusque-là à peu près stériles, faute de voies de communication suffisantes, le duc eut l'idée d'établir, entre ses mines et la grande ville manufacturière de Manchester, une voie navigable complète.

Aidé par l'illustre ingénieur James Brindley, il commença, en 1758, le célèbre canal qui porte son nom. La première partie du canal du duc de Bridgewater, laquelle s'étend à niveau de Worsley Mill jusqu'à Manchester, sur 11 kilomètres $\frac{1}{2}$ de longueur, fut terminée en quelques années; immédiatement après, le duc exécuta le prolongement du canal jusque dans la Mersey, où il rejoint les eaux du port de Liverpool.

La longueur totale de cette voie navigable, une des plus anciennes de l'Angleterre, fut ainsi portée à plus de 64 kilomètres.

Ce n'est pas tout; l'exploitation des mines de Walkden

[1] Cordier, t. I, p. 107 et suiv. — H. de Pommeuse, p. 2 et 11. — Fulton, p. 11. — Sganzin et Reibell, t. II, p. 141 et suiv. — Mary, p. 37 et atlas. — Girard. — Malézieux, pl. XCVI. — Dutens, *Travaux publics d'Angleterre*, p. 5 et 47. — *Annales*, 1843, 1er sem., p. 170. — Egerton, *Inland Navigation*, p. 13.

Digitized by Google

Moor fut assurée par un système aussi hardi que bien entendu. Un réseau complet de voies navigables souterraines fut installé à l'intérieur même de la houillère, et ne tarda pas à atteindre un développement de près de 30 kilomètres.

Ces canaux sont disposés sur deux étages. L'étage inférieur est tout entier dans le prolongement du canal extérieur; l'étage supérieur se trouve à $32^m,43$ au-dessus du premier: c'est pour relier ces deux étages qu'a été établi un plan incliné, également souterrain.

Ce plan, qui rachète, comme on l'a vu, une différence de niveau de $32^m,43$, a une longueur de $137^m,94$, non compris celle de $16^m,44$ des écluses du sommet. Il est constitué dans le même système que celui de Ketley, et contenu dans une galerie voûtée. Deux écluses sont disposées dans le haut, correspondant aux deux brins du câble. La longueur de ces écluses est de $16^m,44$ et leur largeur de $2^m,50$. Les chariots ont $9^m,13$ de long et $2^m,28$ de large. Les bateaux ordinaires, de différentes grandeurs, ont généralement $14^m,60$ de longueur et de $1^m,37$ à $2^m,10$ de largeur; ils portent de 5 à 12 tonnes. La manœuvre complète ne prend que seize minutes, et permet de passer trente bateaux dans chaque sens en huit heures.

Brindley était mort en 1772. Le plan incliné de Walkden Moor fut exécuté sous la direction immédiate du duc de Bridgewater; il fut commencé en septembre 1795, achevé et rendu praticable en octobre 1797. Il fonctionnait encore en 1826, à l'époque où Charles Dupin visita les mines de Walkden Moor; mais il était abandonné en 1842, lors du voyage en Angleterre de MM. Henry Fournel et Isidore d'Yèvre, l'étage supérieur de la houillère étant alors presque

Digitized by Google

épuisé, et l'exploitation en dépilage ne se faisant plus que sur quelques points éloignés du plan incliné.

Projets divers. — Vers l'époque où furent construits les divers appareils que nous venons de passer en revue, l'attention était vivement appelée vers les problèmes de cette nature, et un grand nombre de dispositifs, plus ou moins ingénieux, plus ou moins pratiques, furent imaginés pour remplacer les écluses à sas.

M. Robert Weldon prit, le 19 juin 1792 [1], une patente pour l'invention d'une écluse d'un système assez singulier. Les deux biefs à raccorder sont réunis par un puits vertical de grandes dimensions, fermé dans le bas par une porte qui empêche que le puits ne se vide dans le bief inférieur. Dans ce puits se meut un vaste cylindre horizontal, clos de toutes parts, et dont le poids, en y comprenant l'eau dont il est en partie rempli, est précisément égal au poids du liquide qu'il déplace. Il suffit dès lors de le lester ou de le délester légèrement avec de l'eau pour déterminer sa descente ou son ascension. Ce sas flottant est muni à ses extrémités de portes étanches, qui permettent de le faire communiquer avec l'un ou l'autre bief. Après quelques essais, une écluse de cette espèce fut construite, en 1797, à Combe Hay, sur la branche de Dunkerton du canal de Sommerset-Coal; elle admettait des bateaux de $21^{m},90$ de long sur $2^{m},13$ de large, et rachetait une chute de $13^{m},70$; mais, au bout de quelques mois, les murs du puisard cédèrent à la pression des eaux, et le système fut abandonné.

MM. Rowland et Pickering cherchèrent à améliorer le

[1] Dutens, *Travaux publics d'Angleterre*, p. 32 et suiv.

Digitized by Google

système (patente du 18 mars 1794) en séparant le sas du flotteur; ce dernier se mouvait dans un puits disposé au-dessous du niveau du bief inférieur, et portait un sas découvert, par l'intermédiaire d'une haute charpente. Cet appareil ne fut jamais exécuté.

Gauthey [1] proposa également de grands sas verticaux, de 30 à 50 mètres de hauteur, remplis au moyen de réservoirs étagés.

MM. Bossut et de Solages présentèrent à l'Institut, en l'an VIII de la République, le projet d'une écluse à sas mobile [2], qui ressemblait par plus d'un point à l'appareil de Rowland et Pickering.

Vers la même époque, Fulton [3] prenait un brevet pour un système de plans inclinés fort analogues à ceux du canal de Shropshire, mais dans lesquels la force motrice était obtenue, non plus au moyen d'une machine à vapeur, mais par la descente verticale d'une bâche, qui se remplissait d'eau prise dans le bief supérieur et se vidait dans le bief inférieur.

Canal du Creusot. — Ces deux systèmes, celui de Bossut et de Solages et celui de Fulton, reçurent un commencement d'application lors de la construction du petit canal du Creusot. Ce canal [4], prolongement de la rigole de Torcy, qui alimente le canal du Centre, devait avoir une longueur d'environ 10 kilomètres; la moitié était déjà

[1] p. 89.

[2] De Solages. — Gauthey, p. 407. — Dutens, *Navigation intérieure de la France*, p. 224.

[3] Fulton, chap. VI, p. 56.

[4] Gauthey, p. 407 et suiv.

Digitized by Google

exécutée, lorsque Gauthey termina, en germinal an x, les études de la seconde partie, qui, sur une longueur de 4,986 mètres, devait amener les bateaux jusqu'aux établissements du Creusot. Cette portion de canal était divisée en trois sections.

La première, de 1,062 mètres, présentait une chute de $7^m,90$ à racheter par trois écluses à sas ordinaire.

Dans la seconde, sur 2,273 mètres on devait établir trois plans inclinés, ayant $8^m,61$, $5^m,36$ et $7^m,31$ de chute, soit une chute totale de $21^m,28$.

Enfin la troisième partie, ayant 1,651 mètres de longueur et aboutissant au bassin inférieur de l'établissement du Creusot, devait donner lieu à la construction de trois écluses à sas mobiles, du système Bossut et de Solages, avec des chutes de $8^m,45$, $5^m,36$ et $4^m,55$, en tout $18^m,36$.

Le canal du Creusot était projeté pour $2^m,60$ de largeur au plafond, 1 mètre de tirant d'eau, et les bateaux chargés devaient peser 8,000 kilogrammes.

Les ingénieurs, en rédigeant les projets de détail, apportèrent diverses améliorations aux systèmes proposés. Mais les travaux marchèrent lentement. On put cependant exécuter un sas mobile et un plan incliné, qui furent essayés avec un assez médiocre succès. Puis, Gauthey étant mort en 1807, les travaux furent abandonnés et n'ont pas été repris.

Système de Bétancourt. — Cependant la question ne cessait de susciter de nouvelles recherches. En 1807, M. de Bétancourt présenta à l'Institut un mémoire dans lequel il indiquait un nouveau moyen d'économiser l'eau dans les éclusages, et l'application de ce système à un plan

Digitized by Google

incliné analogue à ceux de Ketley et de Walkden Moor[1]. Le mémoire de M. de Bétancourt renferme des détails de mécanisme extrêmement ingénieux et d'un fort grand intérêt.

Système de Solages. — De son côté, M. de Solages poursuivait ses études, et proposait des dispositions qui ont été appliquées tout récemment, et sur une large échelle, au canal de Chesapeake et Ohio en Amérique. C'est un sas mobile[2] en bois, roulant sur un plan incliné, et muni à ses extrémités de deux portes qui le mettent en relation, soit avec le bief d'amont, soit avec celui d'aval, avec lesquels il vient se raccorder alternativement. Pour que, dans son trajet sur le plan incliné, le sas reste horizontal, la partie postérieure est surélevée par une charpente, à une hauteur suffisante pour racheter la pente. C'est la première fois que nous voyons apparaître cette idée ingénieuse de faire promener le bateau sur un plan incliné, non plus par l'intermédiaire d'un simple chariot, sur lequel il repose à sec, comme dans les machines de Reynold ou de Fulton, mais au moyen d'un bassin, dans lequel il flotte, sans sortir des conditions normales de la navigation. C'est un point qu'il importe de remarquer. Tant qu'il ne s'agit que de bateaux de petit échantillon, il y a peu d'inconvénients à les faire reposer directement sur une plate-forme bien établie, qui épouse avec une précision suffisante les formes du fond. Il n'en est plus de même lorsqu'on a affaire à des bateaux de grandes dimensions; l'échouage, surtout en charge, a pour effet inévitable de disloquer les assemblages et les coutures; et si

[1] De Bétancourt, p. 21 et 39, et planches.

[2] De Solages, p. 7, et planches.

Digitized by Google

l'opération se répète fréquemment, le bateau est mis promptement hors de service.

L'écluse mobile jouit d'une propriété intéressante : un bateau qui y est admis en fait sortir un poids d'eau précisément égal à celui du volume d'eau qu'il déplace; de sorte que, pour une hauteur d'eau donnée, le poids total du sas, de l'eau qu'il contient et du bateau est constant, que le bateau soit lège ou chargé, qu'il soit grand ou petit, et ce poids est le même que lorsque le sas ne contient pas de bateau. Dès lors il suffit d'une force constante pour faire équilibre à la composante de la gravité parallèle au plan incliné.

Dans le système de Solages, cette force est obtenue au moyen de deux chariots convenablement chargés, roulant sur deux voies de fer disposées, de part et d'autre, parallèlement à la voie principale et sur le même plan; ils sont reliés au sas mobile, auquel ils font contrepoids, par l'intermédiaire de câbles et de poulies de renvoi disposées au sommet du plan. Il semblerait, au premier abord, plus simple d'équilibrer le sas au moyen d'un second sas pareil au premier; on aurait ainsi l'avantage de doubler la vitesse de passage des bateaux et la capacité de trafic de l'appareil, et nous verrons plusieurs exemples de cette disposition. Mais il y a là une difficulté, que l'inventeur a finement analysée. Les câbles de chanvre qu'il employait, suivant qu'ils sont plus ou moins humides ou tendus, se raccourcissent ou s'allongent; on ne saurait donc obtenir commodément ce résultat, que les deux sas, s'équilibrant aux deux bouts du câble, arrivent simultanément à fin de course avec une précision assez parfaite pour former tous deux, avec les têtes des biefs, un raccordement étanche. Au contraire, le système de contrepoids, s'arrêtant d'eux-mêmes plus ou moins haut,

Digitized by Google

suivant la longueur actuelle des câbles, satisfait d'une manière simple aux conditions requises. Ces chariots contrepoids sont chargés de maçonnerie et de gueuses en fonte, avec un lest complémentaire d'eau, emprunté au bief supérieur, lest qu'on fait varier pour déterminer le mouvement dans un sens ou dans l'autre. La différence entre le lest d'eau à la montée et à la descente représente la force motrice, équivalente aux résistances passives du système. Si nous faisons abstraction de ces résistances, nous verrons qu'au point de vue dynamique le système est théoriquement parfait : le travail dépensé, produit de la hauteur de chute par le poids de l'eau empruntée au bief supérieur, est précisément égal et de sens opposé au travail de l'élévation des charges. Si le trafic se fait à la descente, ce travail sera négatif : les bateaux ayant à la montée un déplacement moindre qu'à la descente, l'appareil remontera de l'eau du bief inférieur au bief supérieur, et fonctionnera comme machine élévatoire.

Projet de Montet. — Quelques années plus tard, vers 1840, M. l'ingénieur en chef Montet, étudiant le projet d'un vaste ensemble de voies navigables destinées à rattacher les Pyrénées à Bordeaux, était amené à conduire ses tracés dans des gorges tellement abruptes, que l'établissement des écluses à sas y devenait absolument impossible[1]. Ainsi dans la vallée de la Garonne, entre le plateau de Lannemezan et Saint-Martory, sur un parcours de 49,634 mètres, la chute totale était de $344^{m},35$; dans la vallée de la Baïse, entre le même plateau et Mirande, la chute était de $465^{m},23$ sur

[1] Michel Chevalier, *Voies de communication*, t. II, p. 483. — Mary, p. 39 et pl. XV. — Malézieux, pl. XCVII.

Digitized by Google

54,500 mètres. Avec des écluses de 3 mètres de chute, la première de ces deux lignes eût exigé 115 écluses, espacées en moyenne de 431 mètres, et la seconde 153 écluses, avec une longueur moyenne de bief de 356 mètres. Pour résoudre la question, Montet proposa des plans inclinés au $\frac{1}{10}$, avec sas roulants, analogues à ceux de de Solages. Mais ici il y deux sas mobiles, s'équilibrant au moyen d'un câble qui entoure une poulie de renvoi placée au sommet du plan. La longueur de ce câble est telle que, lorsque l'un des deux sas s'appuie sur le cadre qui forme parement à la tête du bief inférieur, l'autre sas est encore à quelque distance de la tête du bief supérieur; on le rappelle, pour le faire joindre, au moyen de verrins manœuvrés à la main.

Autres plans inclinés et élévateurs. — Pour compléter ce résumé historique, citons encore quelques exemples et projets de plans inclinés et d'élévateurs.

Il existe en Hollande[1] depuis de longues années des dispositions assez primitives, ayant pour objet de faire passer les petites barques d'un canal à un autre canal voisin et parallèle au premier. Ce sont de simples planchers en bois à double pente, établis sur les deux flancs de la digue commune, et sur lesquels on fait glisser la barque, soit à bras, soit en s'aidant d'un treuil placé au sommet. C'est, comme on voit, la reproduction du système pratiqué par les Chinois.

Quelquefois l'installation est plus complète : sur chaque versant on dispose des rouleaux transversaux en bois d'environ 2 mètres de long sur 20 à 24 centimètres de diamètre,

[1] Hagen, 2e partie, t. IV, p. 105, pl. LI, fig. 358. — Sganzin et Reibell, p. 141 et suiv.

Digitized by Google

tournant sur des axes fixes en fer, espacés d'un mètre, et formant deux plans inclinés au $\frac{1}{5}$ et opposés par le sommet; les bateaux sont mus par une corde s'enroulant sur un treuil actionné par une roue à tambour; un homme suffit à la manœuvre et peut remonter des bateaux de 6 à 8 tonneaux.

M. L. Deschamps de Pas, en étudiant des chartes anciennes, a constaté qu'il existait en Flandre, dès le XIIe siècle, pour franchir les différences de niveau entre les biefs des cours d'eau et canaux dont le pays est sillonné, des appareils analogues aux plans inclinés des Hollandais. Ces machines étaient connues sous le nom de *Overdrach* (tirage par-dessus) ou, par corruption, *Louverdroeg*. L'un de ces *Overdrach* était établi à Watten, sur la Colme, et commandé par une roue hydraulique. Il subsista jusque vers le milieu du XVIIe siècle. Sur le canal conduisant d'Ypres à Nieuport, il y avait quatre *Overdrach*, dont les dessins, extrêmement curieux, ont été retrouvés dans les archives de la ville d'Ypres; ces appareils étaient actionnés par des hommes grimpant sur des roues à chevilles, ou par des chevaux attelés à un manège[1].

D'après MM. Sganzin et Reibell[2], M. Mercadier avait imaginé un système d'élévateur composé d'une plate-forme suspendue à des verrins portés par un chariot roulant sur un chemin de fer. La plate-forme étant immergée dans le bief d'aval, le bateau à remonter y était amené et amarré; au moyen des verrins on soulevait la plate-forme et le bateau

[1] Renseignement dû à l'obligeance de M. de Mas, ingénieur des ponts et chaussées.

[2] P. 144 et fig. 472.

Digitized by Google

jusqu'au-dessus du bief amont; puis le chariot était poussé de côté et la plate-forme redescendue dans le bief supérieur.

M. James Green, dans sa notice sur l'élévateur du Grand Western Canal[1], dont on trouvera la description ci-après, attribue à James Anderson la première idée du système, qu'il aurait proposé en 1796.

M. Hagen[2] cite également l'exemple d'un petit élévateur vertical qui fonctionnait, il y a un demi-siècle, près de Freiberg, pour amener aux usines d'amalgamation les barques chargées de minerai. Construit tout en bois et fort grossièrement, il ressemblait beaucoup, comme principe, à l'élévateur de Mercadier, à part la plate-forme, qui était remplacée par des chaînes s'amarrant à des anneaux fixés au plat-bord du bateau. Il élevait à 11 mètres de hauteur des barques portant une tonne de charge.

Suivant M. James Leslie[3], trois plans inclinés auraient été établis, vers 1844, sur le canal de Chard, dans le Somersetshire (Angleterre).

Le premier, près de Chard, était à simple voie et se composait, comme ceux du canal de Shropshire, de deux pentes opposées au sommet, dont les pieds plongeaient dans les deux biefs à raccorder, et qui étaient parcourues par un chariot sur lequel le bateau s'échouait à sec. La force motrice était fournie par une turbine placée au pied du plan, agissant sur un câble en fil de fer. La hauteur rachetée était d'environ $26^{m},20$, et la pente de $\frac{1}{5}$.

Le deuxième plan, à Wrantage, comportait deux sas mobiles, s'équilibrant et portés par six roues; la chaîne envelop-

(1) *Transact. of Civ. E.*, 1838, p. 191.
(2) P. 103.
(3) *Min. of Proceeding*, t. XIII, p. 213.

Digitized by Google

pait un tambour horizontal placé au sommet; le mouvement était obtenu en donnant plus d'eau au sas descendant qu'au sas montant, et réglé par des freins ou autres mécanismes analogues. Le sas avait $8^m,70$ de long et $2^m,05$ de large, et pouvait recevoir des bateaux de $6^m,25$ à $6^m,50$ de long, les portes du sas se rabattant en dedans. La hauteur rachetée était de $8^m,35$ et la pente de $\frac{1}{8}$.

Le troisième plan, à Ilminster, était en tout semblable au précédent.

Digitized by Google

PARTIE DESCRIPTIVE.

Plusieurs des dispositions que nous venons de passer en revue, dans la partie historique de cette notice, se trouvent reproduites, avec des perfectionnements importants, dans les installations modernes, que nous allons actuellement examiner. L'étude de détail de ces appareils, qui, pour la plupart, fonctionnent encore aujourd'hui d'une manière pratique, présente un intérêt sérieux d'application, pour les ingénieurs qui auront à projeter ou à construire des machines analogues. Nous donnerons donc quelque développement à ces descriptions.

Nous étudierons six installations :

1° Les plans inclinés du canal Morris, en Amérique;

2° Ceux du canal de l'Oberland prussien;

3° Le plan incliné de Blackhill, sur le canal du Monkland, en Angleterre;

4° Le plan incliné de Georgetown, sur le canal de Chesapeake et Ohio, aux États-Unis;

5° L'élévateur du Grand Western Canal, en Angleterre;

6° L'élévateur d'Anderton, en Angleterre.

Digitized by Google

PLANS INCLINÉS DU CANAL MORRIS[1].

(Planche I.)

Tracé du canal. — Le canal Morris a été construit principalement dans le but d'écouler les quantités énormes d'anthracite que fournissent les mines de la Pensylvanie. Partant de Philipsburg, vis-à-vis Easton, sur la rive gauche de la Delaware, il va rejoindre, à Newark, la Passaïc, affluent de l'Hudson, et se prolonge jusqu'à Jersey City, sur l'Hudson.

Il a été commencé en 1825, terminé jusqu'à Newark en 1831, et jusqu'à Jersey City en 1835.

Ce canal franchit le faîte qui sépare les bassins de la Delaware et de la Passaïc.

Les pentes et longueurs des différentes sections sont les suivantes :

	Pentes totales.	Longueurs.
Versant de la Delaware.....	231m,80	60,949m
Bief de partage.....	"	2,928
Versant de l'Hudson.....	278 77	99,123
TOTAUX.....	510 57	163,000

Ces pentes sont rachetées par 25 écluses, de 2m,44 à

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, 1837, 2e sem., p. 1; 1839, 2e sem., p. 174; 1843, 2e sem., p. 309. — Poussin, p. 56. — Michel Chevalier, *Lettres*, t. II, p. 91; *Voies de communication*, t. II, p. 476; *Plan incliné du canal Morris*. — Malézieux, pl. XCVI. — *Annual Reports*, 1874, 1re partie, p. 550. — Sganzin et Reibell, t. II, p. 142.

Les indications données par ces divers auteurs ne sont pas parfaitement concordantes. Celles fournies par Michel Chevalier nous ont paru présenter les meilleures garanties d'exactitude.

Digitized by Google

$3^m,66$ de chute, et par 23 plans inclinés, dont les déclivités varient de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{12}$, avec des hauteurs comprises entre $10^m,68$ et $30^m,50$, et des longueurs allant de $127^m,49$ à $335^m,50$.

Le canal Morris, comme d'ailleurs la plupart des ouvrages d'utilité publique, a subi depuis sa création plus d'un remaniement. En 1835, à l'époque où Michel Chevalier le visita, les plans inclinés fonctionnaient depuis plusieurs années, et avaient déjà été l'objet de notables améliorations. Il rapporta de ces plans et du canal une description détaillée, dont on va lire quelques extraits.

Le canal Morris présente un tirant d'eau de $1^m,22$ et une largeur de $9^m,75$ au plan d'eau. Les bateaux qui le fréquentent pèsent à vide de 6 à 8 tonnes, et leur chargement s'élève jusqu'à 25 ou 28 tonnes.

Plan incliné n° 21. Dispositions générales. — Des 23 plans inclinés qui se rencontrent sur le parcours, le plus important est celui n° 21, à 7 kilomètres $\frac{1}{2}$ de Philipsburg.

Ce plan rachète une hauteur de $30^m,50$ sur une longueur horizontale de $335^m,50$, soit une pente de $\frac{1}{11}$.

Il est constitué par deux voies de fer parallèles, dont le pied baigne dans le bief inférieur et le haut pénètre dans une écluse à sas. Les deux chariots qui circulent sur ces voies portent à sec les bateaux. Ils sont reliés par une chaîne en fer qui s'enroule autour d'une poulie de renvoi horizontale, placée sous le bajoyer qui sépare les deux écluses de tête; cette chaîne vient se moufler sur une poulie fixée à chaque chariot. Le trafic se faisant aussi bien à la remonte qu'à la descente, le système ne saurait être automoteur; il

Digitized by Google

est mis en mouvement par une roue à augets, qui reçoit l'eau prise au bief supérieur, et transmet, par des engrenages, la force motrice à la poulie placée au sommet; la puissance de ce moteur est suffisante pour remonter un bateau chargé, quand bien même le chariot descendant est vide; des embrayages permettent de changer le sens du mouvement, et un frein à frottement de modérer la vitesse.

Afin de réduire le prisme de remplissage, le radier du sas n'a qu'une pente très faible; de même le pied du plan incliné se termine par un palier immergé dans le bief d'aval. Il résulte des dispositions de ce profil que la chaîne principale serait insuffisante pour déterminer le mouvement au départ et à l'arrivée. Pour parer à cet inconvénient, on a établi une deuxième chaîne, de plus petite section, laquelle s'attache au côté de chaque chariot et va passer sur une petite poulie horizontale immergée au pied du plan.

Les deux chaînes sont portées par des rouleaux répartis le long des voies.

Sas supérieurs. — Les sas supérieurs, bajoyers et radiers, sont en bois.

Les portes d'amont sont des vannes verticales, qui glissent entre des rainures, en s'abaissant dans une fosse. Elles sont mises en mouvement par une petite roue à augets spéciale, qui agit sur elles au moyen d'engrenages, avec embrayage de changement de marche. Elles ne sont pas percées de ventelles : le remplissage du sas se fait par déversement au-dessus de leur crête, au moment où elles s'abaissent.

La porte d'aval de chaque sas est à rabattement; elle tourne autour d'un axe horizontal placé au niveau du radier, et s'abaisse vers l'amont. Elle porte sur sa face aval une

Digitized by Google

paire de rails qui, lorsqu'elle est couchée, raccordent les voies fixées au plan incliné et au radier. Le mouvement de cette porte est automatique : couchée, elle repose dans son enclave sur des taquets qui laissent un large jeu en dessous de la porte; si l'on vient alors à baisser la porte d'amont, le courant d'eau qui parcourt l'écluse, accéléré par la légère pente du radier, prend par-dessous la porte d'aval, la soulève et l'applique contre ses buttoirs. La porte d'aval est pleine comme celle d'amont.

Immédiatement en amont de l'enclave de la porte d'aval, le radier est percé d'une large ouverture, faisant office de ventelle de vidange, et fermé par une vanne horizontale glissante. Le mouvement de cette vanne est également automatique. La vanne est reliée par une poutre à une planche transversale en saillie sur le radier : le sas étant vide, lorsque l'eau déverse par-dessus la porte d'amont, le courant pousse cette planche et détermine la fermeture de la vanne. En outre, cette vanne est fixée à une chaîne qui s'enroule autour de l'axe des pignons qui soulèvent la porte d'amont; quand on relève la porte, la chaîne se tend, tire la vanne, démasque l'ouverture, et donne écoulement à l'eau du sas.

Dispositions diverses. — Les différents leviers commandant la mise en marche des deux roues à augets, et les divers embrayages, ainsi que le frein, sont groupés sur une plate-forme attenant à la maison éclusière.

Les dessins et la légende descriptive expliquent les principaux détails du système.

Toutes les dispositions ont été prises pour que la manœuvre se fasse avec une grande promptitude. La force né-

Digitized by Google

cessaire pour faire mouvoir les portes et la ventelle du sas est empruntée à la chute d'eau elle-même; il suffit, pour la mettre en action, de pousser quelques leviers groupés sous la main de l'éclusier. Le remplissage du sas ne prend pas une minute, et le passage complet d'un bateau du bief inférieur au bief supérieur dure moins d'un quart d'heure.

La puissance motrice résultant de la chute de l'eau est ici assez mal employée : la roue motrice à augets reçoit l'action de l'eau sur les deux tiers de son diamètre, soit $5^{m},30$ de hauteur environ, tandis que la différence de niveau entre les deux biefs atteint 30 mètres.

État actuel. — Depuis le voyage de Michel Chevalier, les plans inclinés du canal Morris ont été de nouveau modifiés à plusieurs reprises. D'après des renseignements récents [1], les dispositions actuellement adoptées seraient les suivantes :

Les bateaux (fig. 14 à 17) qui circulent sur le canal sont coupés, par le milieu de leur longueur, en deux parties qui peuvent se réunir au moyen de verrous; chaque moitié se place à sec sur un chariot; les deux chariots, attelés à la suite l'un de l'autre, circulent sur l'une des voies du plan incliné, en faisant partiellement équilibre à un train pareil circulant sur l'autre voie. Ces deux trains sont réunis entre eux par un câble sans fin qui, d'une part, s'enroule sur une poulie immergée dans le bief aval au pied du plan incliné, et, d'autre part, est renvoyé latéralement, par des poulies placées en tête du plan, sur un treuil mû par une turbine.

[1] *Renseignements particuliers.* — Hagen, 2e part., IVe vol., p. 126.

Digitized by Google

Les écluses à sas du sommet ont été démolies, et remplacées par un dispositif analogue à celui du plan de Hay, à savoir : une contre-pente plongeant dans le bief supérieur. Cette disposition a reçu le nom de *summit plane* (plan à sommet ou à deux versants).

Au plan incliné de Newark, la turbine motrice a $3^m,10$ de diamètre, et reçoit l'eau du bief supérieur sous une chute de $16^m,50$. Elle actionne un tambour de $3^m,70$ de diamètre et de $2^m,30$ de largeur, sur lequel s'enroule le câble, qui est en fil de fer et a 56 millimètres de diamètre.

Chaque chariot est porté par huit roues, réunies deux à deux par des balanciers longitudinaux, qui leur permettent de suivre les inflexions du profil aux changements de pente.

Les bateaux, tout montés, ont une longueur de 24 mètres; leur largeur est de $3^m,20$; leur charge, de 70 tonnes. Le poids total d'un train, comprenant le bateau, son chargement et les deux chariots sur lesquels il repose, s'élève à 110 tonnes.

Pour éviter que les bateaux ne plongent à leur entrée dans le bief ou à leur sortie, on a disposé, dans le haut et dans le bas, de chaque côté de la voie, deux files de rails, à des niveaux différents de ceux des rails principaux, et parcourues par l'un des couples des roues des chariots : dispositif que nous allons retrouver, et décrire avec détail, dans les plans inclinés du canal de l'Oberland prussien.

Digitized by Google

PLANS INCLINÉS DU CANAL DE L'OBERLAND (PRUSSE) [1].

(Planches II et III.)

Tracé du canal. — Les plans inclinés du canal de l'Oberland prussien, si bien conçus, si ingénieux, si bien adaptés aux circonstances locales, et sans lesquels cette voie navigable eût été difficilement exécutable, sont cependant fort peu connus des ingénieurs français; les hasards d'un voyage nous ont amené à les voir fonctionner; nous ne connaissons aucune publication française qui ait appelé sur eux l'attention. Aussi donnerons-nous quelque étendue à la description de ces appareils, qui rendent les plus sérieux services à la navigation locale.

Le canal de l'Oberland prussien a pour objet de desservir le vaste plateau boisé et cultivé qui domine la rive droite de la Vistule, et d'en amener les produits, par Elbing, dans le Frische Haff, grande lagune qui communique, à Pillau, avec la mer Baltique. Ce plateau est horizontal et situé à une altitude d'environ 100 mètres au-dessus du niveau de la mer; il est semé d'étangs, dont quelques-uns, rattachés entre eux par de courtes coupures, ont permis de constituer une ligne navigable continue. Cette ligne s'avance presque de niveau (sauf deux écluses) jusqu'au bord du plateau; c'est pour franchir l'escarpement qui le termine qu'on a eu recours aux plans inclinés. L'idée de cette voie fut mise en avant en 1825; jusqu'alors le pays n'était des-

[1] *Zeitsch. für Bauwesen*, 1861, p. 150. — *Notes de voyage inédites.* — Hagen, 2e part., IVe vol., p. 129 et suiv., pl. LVI et LVII.

Digitized by Google

servi que par de mauvaises routes sans chaussée. Les travaux furent entrepris en 1844, et le canal ouvert en octobre 1860.

A la suite d'un bief horizontal, de plus de 18 kilomètres de longueur, constitué par la traversée des étangs et les coupures qui les réunissent, la descente à flanc de coteau est constituée comme il suit :

	Hauteur.	Longueur.
Plan incliné de Buchwalde...	20m,40	244m,80
Plan incliné de Kanten.....	18 83	225 97
Plan incliné de Schönfeld...	24 48	293 76
Plan incliné de Hirschfeld...	21 97	263 63
CHUTE TOTALE.....	85 68	

La longueur horizontale, depuis la tête du premier de ces plans jusqu'à la base du dernier, est de 7,500 mètres.

Puis viennent cinq écluses, rachetant une chute totale variable de 12m,60 à 14m,30, suivant la hauteur du plan d'eau dans les étangs auxquels aboutit le canal.

Le profil transversal du canal a les dimensions suivantes :

Largeur au plafond.....	7m,53
Largeur au plan d'eau.....	16 32
Tirant d'eau.....	1 25

Le sas des écluses a 31m,40 de long sur 3m,14 de large.

Les bateaux ont une longueur de 23m,70 à 24m,50, une largeur de 3 mètres à 3m,10; ils tirent à charge 1m,12, et 16 centimètres à vide; ils pèsent lèges 10 à 12 tonnes et chargent 50 à 70 tonnes.

Digitized by Google

Des trains de bois fréquentent également le canal : leur largeur ne dépasse pas, dans le bas, $2^m,51$, dans le haut, $2^m,98$, leur longueur, $30^m,13$, et leur tirant d'eau, $1^m,10$.

Dispositions générales des plans inclinés. — Les bateaux et les flottes s'échouent à sec sur un berceau roulant en fer; deux berceaux pareils se font équilibre, au moyen de câbles en fil de fer, autour d'un treuil placé au sommet du plan et mis en mouvement par une roue hydraulique.

L'appareil élévateur est conçu dans le système des *summit planes*, c'est-à-dire qu'il comporte deux versants, dont les pieds s'immergent dans les deux biefs à réunir, et dont le sommet commun s'élève à 31 centimètres au-dessus de la cote maximum du plan d'eau du bief supérieur. Ce plan d'eau, dans le bief de partage, qui est contigu à la pente de Hirschfeld, peut varier de $1^m,57$, suivant les saisons, ce qui a conduit à donner une plus grande hauteur aux parois latérales des chariots qui parcourent cette pente.

La largeur de chaque voie de fer est de $3^m,27$; les deux voies sont distantes de $5^m,43$ d'axe en axe; leur inclinaison, dans la partie moyenne, est de $\frac{1}{12}$; toutefois, afin de régulariser l'effort exercé par le moteur, cette inclinaison est réduite à $\frac{1}{24}$ sur la contre-pente supérieure, ainsi que dans une partie d'égale longueur dans le bas du plan incliné.

Chariots roulants. — Les chariots sont entièrement en fer, à l'exception du platelage et de la passerelle, qui sont en bois; la plate-forme inférieure est légèrement arquée, pour mieux épouser les formes du fond des bateaux. Chaque chariot porte sur deux trucs, armés de quatre roues; ces

Digitized by Google

trucs oscillent autour d'un axe horizontal, qui leur permet de suivre les variations de pente du plan; la distance de ces trucs, d'axe en axe, est de $9^{m},10$. Le chariot est formé de deux poutres en treillis, entretoisées par des fers à double T, qui reçoivent le platelage. Un frein, manœuvré de la passerelle, attaque à la fois les huit roues.

Voies de fer. — Avec le *summit plane*, il arrive que le chariot, après avoir remonté sur une des pentes, doit basculer pour redescendre sur la pente opposée; le bateau, posé à sec, suit le même mouvement : il ne se présente donc pas, à l'immersion, dans la même position qu'à l'émersion par rapport au plan d'eau.

C'est là un grave inconvénient; il peut en résulter, ou que le bateau se remplisse d'eau, ou tout au moins qu'il subisse des dislocations, par suite de la flottaison inégale de ses deux extrémités. Un inconvénient de même nature se présente, quoique à un degré moindre, dans le bas du plan, au passage de la pente de $\frac{1}{12}$ à la pente de $\frac{1}{24}$. On a tourné ces difficultés par un moyen fort ingénieux, auquel nous avons déjà fait allusion, à propos des plans inclinés du canal Morris :

Les roues du chariot sont munies de deux bandages égaux, séparés par un mentonnet commun; mais les deux trucs qui supportent le chariot n'ont pas la même largeur de voie; les roues du truc d'aval, celui qui regarde le bief inférieur, sont plus rapprochées; de telle sorte que, dans la partie moyenne du plan, là où règne la pente de $\frac{1}{12}$, ce sont les bandages *extérieurs* du truc aval et les bandages *intérieurs* du truc amont qui portent sur les rails.

Dans le bas du plan, la voie normale est doublée d'une

Digitized by Google

voie plus étroite, qui se relève vers l'aval; ces rails intérieurs reçoivent les bandages intérieurs du truc d'aval, ceux du truc d'amont continuant à suivre les rails de la voie normale; ainsi, à mesure que le chariot descend, son arrière se relève progressivement, et le système devient horizontal au moment de son immersion. Une disposition analogue existe sur la contre-pente aboutissant au bief amont.

Les rails ont le profil adopté sur le chemin de fer de l'Est prussien; ils pèsent 35 kilogrammes le mètre courant, et reposent sur des longrines en chêne, boulonnées sur des traverses espacées de $1^{m},10$. Mais cette voie s'est trouvée un peu faible pour la charge qu'elle avait à supporter; celle-ci se décompose comme il suit :

Chariot	25 tonnes.
Bateau vide	10
Chargement	70
CHARGE TOTALE	105

Soit par roue, 13,000 kilogrammes, c'est-à-dire le double du maximum admis dans les chemins de fer. Sous cette charge énorme, les bandages en fer et les rails se brisaient au bout de quelques semaines. On a dû recourir à l'acier, et chercher à remplacer les traverses par une fondation en béton.

Câbles. — Les figures de la planche II indiquent la disposition des câbles en fil de fer, qui servent à la manœuvre du système. A chaque chariot est attaché un câble principal qui, renvoyé par un système de poulies, vient s'amarrer sur un tambour mû par une roue hydraulique; l'un des câbles

Digitized by Google

s'enroule quand l'autre se déroule. En outre, pour déterminer le mouvement d'ascension sur la contre-pente, et pour assurer la descente sur la partie à faible pente du bas du plan, les deux chariots sont reliés par un contre-câble, qui vient passer sur un système de poulies de renvoi, disposé dans le bief d'aval. On peut suivre sur les figures le trajet de ces divers câbles. Le long des plans, les câbles roulent sur des poulies de support espacées de $9^m,42$.

Les câbles sortent de la fabrique de Felten et Guillaume (de Cologne). Le câble principal est composé de sept torons, chacun de sept fils n° 9; chaque toron forme une hélice allongée du pas de 353 à 365 millimètres; la circonférence du câble est de 113 millimètres (diamètre : 36 millimètres), et le poids est de 5 kilogrammes par mètre courant.

Il travaille à près de 15 kilogrammes par millimètre carré de section pleine des fils.

Le contre-câble est en fils n° 11; le pas est de 248 millimètres, la circonférence de 98 millimètres (diamètre : 31 millimètres), et le poids du mètre de $3^k,26$.

Mécanisme. — La roue motrice est une roue à augets en fer, de $8^m,48$ de diamètre sur $3^m,76$ de largeur; elle est armée de soixante aubes; le canal d'amenée est commandé par une vanne à la main du mécanicien, qui est ainsi maître de la puissance à communiquer à la roue. Un système de roues dentées, avec embrayage pour renversement de marche, transmet le mouvement au tambour, sur lequel s'enroulent, en sens inverse, les deux câbles principaux. Un frein à friction est, en outre, monté sur l'une des roues d'engrenage.

Le tambour est en fonte; sa surface porte une cannelure

Digitized by Google

hélicoïdale continue, pour recevoir les câbles; son diamètre est de $3^m,76$, et sa longueur, variable suivant celle du plan, est de $2^m,20$ à $2^m,67$.

La puissance motrice à dépenser, qui est maxima au départ, au moment où les deux chariots remontent à la fois la pente et la contre-pente, diminue quand le chariot descendant a franchi le sommet, et devient même négative, si le chariot avalant est chargé et le chariot montant vide. On règle la puissance au moyen de la vanne, qui commande le canal d'amenée, et au moyen du frein à friction.

Manœuvre. — La manœuvre est des plus simples. Tous les leviers sont concentrés sous la main du mécanicien, qui juge, à la position des câbles sur le tambour, de la position des bateaux sur le plan incliné, et modère ou active en conséquence la vitesse de la machine. Au départ, il a sous les yeux le chariot d'amont, et le signal lui est donné du bief aval par un coup de cloche.

Un marinier est toujours sur la passerelle, prêt à serrer les freins du chariot en cas de rupture des câbles, accident qui, du reste, ne s'est jamais présenté.

Les deux chariots marchent toujours en même temps; mais ils ne sont pas toujours tous deux chargés. Leur vitesse en pleine marche est de 78 centimètres à $1^m,02$ par seconde. Chaque opération dure environ un quart d'heure; la chute totale de $85^m,68$ des quatre plans est donc franchie en une heure. Avec des écluses, il faudrait au moins six à huit heures. On a pu, dans une seule journée, faire, sur un des plans, jusqu'à soixante-treize opérations, correspondant au passage de cent quarante-six bateaux, tant ascendants qu'avalants.

Digitized by Google

Les travaux du canal ont été exécutés sous la direction de l'ingénieur en chef Steenke.

Le mécanisme a été établi par M. Krüger, directeur de l'atelier de construction de machines de Dirschau.

Additions récentes. — Il résulte de renseignements reçus tout récemment[1], que le Gouvernement prussien a entrepris la démolition des cinq écluses inférieures du canal de l'Oberland, et leur remplacement par un plan incliné unique, construit d'après le même système que les plans supérieurs, avec quelques améliorations de détails, notamment la substitution d'une turbine à la roue hydraulique qui met les appareils en mouvement.

PLAN INCLINÉ DE BLACKHILL[2].

Dispositions générales. — Le plan incliné de Blackhill, sur le canal de Monkland (Écosse), a été décrit avec détail dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées* et qui se trouve entre les mains de tous les ingénieurs. Nous pourrons donc passer rapidement sur les dispositions de ce remarquable travail, et n'insister que sur les points présentant un intérêt particulier.

Ce plan a été installé pour suppléer à l'insuffisance d'une descente d'écluses, composée de quatre écluses doubles,

[1] Dus à l'obligeance de M. l'Ingénieur en chef Fontaine, qui a rapporté de son voyage avec M. l'Ingénieur Desmur et a bien voulu nous communiquer des documents et dessins très détaillés relatifs à l'entreprise.

[2] *Ann.* 1877, 1er sem., p. 361. — *Min. of proceedings*, vol. XIII, p. 205. — Fénoux, *Journal de mission.*

Digitized by Google

c'est-à-dire huit sas échelonnés, rachetant une hauteur totale de $29^m,28$.

En 1841, on avait construit, à côté de cette première échelle, une seconde échelle de huit écluses, groupées également deux par deux; mais cela ne suffit pas encore. Outre qu'elles ne pouvaient plus répondre convenablement au trafic énorme du canal, les écluses avaient le grave inconvénient d'épuiser les ressources de l'alimentation.

C'est ainsi qu'en 1849 on fut conduit à construire le plan incliné.

Ce plan ne donne passage qu'aux bateaux vides; les bateaux chargés passent par l'une des deux échelles d'écluse.

Les dimensions de ces bateaux sont les suivantes :

Longueur (y compris le gouvernail)	$21^m,35$
Largeur	4 12
Tirant d'eau à vide	$0^m,46$ à 0 55
Tirant d'eau avec chargement de 60 tonnes.	1 37
Le tirant d'eau du canal est de	1 52

Les écluses ont $22^m,87$ de long, $4^m,27$ de large et une chute de $3^m,66$.

Le système adopté pour le plan de Blackhill est fort analogue à celui qu'avait proposé de Solages, avec les modifications indiquées par Montet. Il se compose de deux sas pleins d'eau, roulant sur un plan incliné, se faisant équilibre au moyen de câbles enroulés sur deux tambours, et dans lesquels les bateaux sont à flot. La première idée de l'application de ce système à la descente de Blackhill fut émise, en 1839, par Andrew Thomson.

Le plan de Blackhill, qui rachète, comme on l'a vu, une

Digitized by Google

différence de niveau de $29^m,28$, est incliné au $\frac{1}{10}$. Le sas roulant est muni, à ses deux extrémités, de portes en forme de vannes levantes. Dans le haut de sa course, il s'appuie fortement contre une fourrure, formant garniture étanche sur la tête du bief amont; dans le bas, il s'immerge dans une fosse en communication avec le bief aval.

Principaux détails. — Le sas est en tôle et fers spéciaux; il a $4^m,36$ de large, $21^m,34$ de long et 84 centimètres de creux; le tirant d'eau n'y dépasse pas en général 61 centimètres. Il est porté par un solide chariot en fer forgé, surhaussé vers l'aval, de manière à maintenir le caisson horizontal; le tout repose sur dix paires de roues à boudin.

Chaque voie ferrée a une longueur de 317 mètres, et une largeur de $2^m,13$. Les rails, du type à patin, pèsent 40 kilogrammes le mètre courant, et portent sur des longrines entretoisées par des traverses en bois. Sur les mêmes longrines sont fixées des crémaillères en fonte, au-dessus desquelles est suspendu un linguet, porté par le chariot, et disposé de manière à tomber en cas de rupture du câble; c'est là un expédient dont l'efficacité peut paraître douteuse.

Les câbles sont en fils de fer, de 51 millimètres de diamètre. Ils sont amarrés au caisson par l'intermédiaire de forts ressorts de traction fixés dans le bâti.

L'appareil moteur est composé de deux machines à vapeur, actionnant par engrenages les deux tambours, sur lesquels s'enroulent les câbles. Le volant des machines est muni d'un frein à vapeur. Les tambours ont $4^m,88$ de diamètre.

Une fois le chariot arrivé au haut du plan, il faut l'ap-

Digitized by Google

puyer contre la tête du bief supérieur, afin d'assurer l'étanchéité du joint. On obtient ce résultat au moyen d'une presse hydraulique, de 91 centimètres de course.

On a soin, une fois les portes fermées, de faire écouler une partie de l'eau du sas roulant, de telle sorte que le bateau porte légèrement sur le fond, ce qui diminue le poids à traîner, et empêche le bateau de ballotter. Cet artifice procure un autre avantage : au moment où l'on ouvre la porte de communication avec le bief, l'eau se précipite dans le sas, et, renvoyée par la paroi d'arrière, elle entraîne le bateau hors du caisson, sans qu'on ait besoin de le haler; il y a là une économie fort notable dans la durée des manœuvres.

La vitesse normale de marche sur le plan est d'environ 90 centimètres par seconde; la durée d'une opération est de dix minutes, correspondant au passage de deux bateaux, l'un à la descente, l'autre à la montée; à certains moments, on a pu passer ainsi seize bateaux en deux heures.

Le poids total d'un sas, y compris son chariot, l'eau qu'il contient et le bateau vide, est de 70 à 80 tonnes.

L'appareil a été construit sous la direction de M. James Leslie, et terminé en juillet 1850. Il a coûté 332,000 francs.

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation sont, en moyenne, de 15,000 francs, correspondant au passage de plus de 12,000 bateaux.

Digitized by Google

PLAN INCLINÉ DE GEORGETOWN [1].

(Planches IV et V.)

Ce plan incliné, d'une construction récente, n'a, que nous sachions, été décrit dans aucune publication française. C'est la plus importante application pratique des conceptions de Montet et de de Solages. On y trouve d'ailleurs des dispositions d'ensemble et des détails qu'il peut être fort intéressant de connaître. Nous donnerons donc quelque étendue à la description de ce remarquable travail.

Le canal de Chesapeake et Ohio est réuni au Potomac, non loin de Washington, au moyen de deux écluses à sas. Pour parer à l'insuffisance de ces écluses, une société se constitua en 1875, sous la direction de M. H. Dodge, dans le but de créer, en amont de Washington, à Georgetown, une nouvelle descente en rivière.

Après diverses études, l'ingénieur de la société, M. Hutton, proposa et fit adopter l'idée d'opérer cette jonction au moyen d'un sas, roulant sur un plan incliné. Tel est le dispositif qui a été mis à exécution.

Dispositions générales. — La chute à racheter varie suivant la hauteur des eaux de la rivière; elle est :

En eaux moyennes, de.....	11^{m},60
En hautes eaux, de.....	10 69
En basses eaux, de.....	11 90 [2]

[1] *Zeitschrift für Bauwesen*, 1879, p. 50. — *American Eng. at the Expos. of 1878*, p. 96.

[2] Nous empruntons ces chiffres au journal allemand; ceux insérés dans la notice sur l'Exposition en diffèrent légèrement.

Digitized by Google

Les dimensions des bateaux qui fréquentent le canal sont les suivantes :

Longueur	$27^m,40$
Largeur	4 39
Tirant d'eau à charge	1 52

Chargement : 110 à 115 tonnes.

Le sas mobile roule sur une voie de fer inclinée au $\frac{1}{12}$; deux wagons-contrepoids roulent sur deux voies en pente, installées de part et d'autre de la voie principale; deux câbles en fils de fer s'amarrent au chariot du sas roulant. Après s'être enroulé sur un jeu de poulies horizontales, disposées au haut du plan, chaque câble vient se moufler sur une poulie fixée au wagon-contrepoids, et s'amarrer à un point fixe du bajoyer d'amont. De cette façon, la course des contrepoids n'est que la moitié de la course du sas roulant.

Les poulies horizontales fixes sont réunies par groupes, et entourées, deux à deux, par plusieurs circonvolutions du câble, de manière à en déterminer l'entraînement par adhérence; elles sont actionnées par une turbine, qu'alimentent les eaux du bief amont. Le sas mobile est muni de portes à ses deux extrémités. Vers le haut, il se réunit, à joint étanche, avec la tête du bief amont, au moyen d'un système hydraulique, qui le presse contre l'encadrement de cette tête; vers le bas, il s'immerge dans un bassin, qui se raccorde à niveau avec le Potomac.

Sas mobile. — Le sas est en tôle rivée et fers spéciaux; ses dimensions sont :

Longueur	$34^m,12$
Largeur	5 10
Hauteur	2 39

Digitized by Google

Il est muni intérieurement et sur les côtés de ceintures en madriers, pour atténuer les effets du choc des bateaux.

Les bords du caisson portent une passerelle avec garde-corps. Les deux portes qui le terminent sont à rabattement, et se couchent en dedans, dans des enclaves ménagées dans le radier.

Chaque porte est constituée par un bordage en tôle, consolidé par une carcasse en bois et fer. Cette carcasse se compose : d'un poteau-tourillon horizontal en bois, placé au niveau du radier et tournant sur des fusées en fer, d'une pièce de bois parallèle, encadrant le bord opposé de la porte et enchâssée entre deux fers en U, et de quatre montants en fer à double T. Le poteau-tourillon tourne au contact d'une fourrure en bois, et les montants extrêmes viennent battre, quand la porte se ferme, contre des portées en fer ajustées.

Les portes du sas sont percées, dans le haut, d'ouvertures fermées par des ventelles, qui tournent autour de leur arête inférieure; la porte d'amont comporte une seule ouverture, et celle d'aval trois ouvertures pareilles.

Comme les portes, les bords des ventelles, en se fermant, viennent battre sur un cadre en fer ajusté.

La manœuvre des portes et des ventelles se fait au moyen de petits treuils à main, agissant sur des cordes passant sur des poulies de renvoi convenablement disposées. Les treuils pour la manœuvre des portes sont fixés au caisson; ceux pour la manœuvre des ventelles sont montés sur les portes, et actionnés par une clef amovible, qu'on retire au moment de l'abattage.

Dans le bas du plan incliné, le sas et le chariot qui le porte s'immergent dans une fosse, qui communique libre-

Digitized by Google

ment avec la rivière par une tête en maçonnerie, dans laquelle sont ménagées des rainures pour poutrelles.

Roues et chariots du sas mobile. — Le sas repose sur trois trucs, qui portent chacun sur douze roues à boudin; ces roues circulent sur quatre files de rails parallèles. Les roues du truc amont ont 761 millimètres de diamètre, celles des deux autres trucs 838 millimètres; les bandages ont 101 millimètres de portée cylindrique. Les roues sont en fonte, et montées par paires sur un même essieu, à la presse hydraulique, comme les roues des chemins de fer.

Les trucs sont en bois, afin d'atténuer la transmission des chocs au sas en fer; le truc amont porte directement les poutrelles du caisson; les deux autres trucs reçoivent une charpente surélevée, qui maintient le sas horizontal, malgré l'inclinaison de la voie.

C'est sur le truc du milieu que viennent agir les câbles de traction, et qu'est adapté l'appareil de sûreté. Les extrémités des deux câbles sont réunies par un bout de chaîne, lequel passe sur deux petites poulies horizontales fixées au truc, de telle sorte que les tensions des deux brins du câble soient toujours égales.

L'appareil de sûreté consiste en six linguets, qui sont suspendus au-dessus d'une double crémaillère, disposée entre les deux rails intérieurs. C'est la tension même des câbles de traction qui maintient ces linguets soulevés. A cet effet, deux câbles légers sont frappés, à une petite distance en avant du truc, sur les deux brins du câble principal. La tension de ces câbles secondaires soulève un contrepoids, qui commande les linguets. Si le câble principal vient à se rompre, les câbles secondaires se détendent, le contrepoids

Digitized by Google

tombe, les linguets s'abattent, mordent dans les dents de la crémaillère, et empêchent le chariot de se précipiter sur la pente.

Ce système paraît d'une efficacité fort problématique; d'ailleurs, si les cordes secondaires viennent accidentellement à se détendre, les linguets peuvent mordre sur la crémaillère, et entraver la descente de l'appareil.

Jonction avec la tête du bief. — La tête du bief amont se termine par un cadre en bois, garni d'un bourrelet en caoutchouc, contre lequel vient s'appuyer une fourrure, également en bois, fixée à la tête du caisson; une presse hydraulique complète la pression, et assure l'étanchéité du joint.

En arrière du cadre en bois, le sas est fermé par une porte à rabattement, construite dans le système bien connu sous le nom de *tumble gate*, et qui est aujourd'hui fort en usage aux États-Unis[1]. Cette porte est munie de ventelles à jalousie, manœuvrées à la main. Ces ventelles servent à établir le niveau entre le bief et le sas. Au moment du départ du caisson, les portes du bief et du sas étant fermées, il reste entre elles un petit prisme d'eau, que l'on évacue au moyen d'un tuyau spécial, fermé par un clapet manœuvré à la main.

Wagons-contrepoids. — Chacun des deux contrepoids est constitué par deux wagons à seize roues, attelés à la suite l'un de l'autre, roulant sur quatre files de rails et chargés de pierres.

[1] Malézieux. *Travaux publics des États-Unis*, p. 340 et pl. XLVI.

Digitized by Google

Le système des châssis et des essieux est organisé d'une manière analogue à celui des trucs du sas mobile. La poulie sur laquelle vient se moufler le câble est en fonte, à gorge, et a $2^m,89$ de diamètre.

L'arrêt, en cas de rupture des câbles, est obtenu, non plus au moyen d'un encliquetage, mais par des freins à frottement, qui sont pressés sur le bandage des roues par la chute d'un contrepoids. Celui-ci est tenu suspendu au moyen d'un câble secondaire, qui se moufle sur une petite poulie spéciale fixée au chariot, en arrière de la grande poulie, et est tendu parallèlement au câble principal, auquel il se rattache par ses deux extrémités.

Câbles. — Les câbles sont en fil de fer; ils ont 44 millimètres de diamètre et sont éprouvés à une charge de 78 tonnes.

On peut suivre sur les figures le trajet qu'ils parcourent. Chaque câble vient s'attacher au bout de chaîne, qui court sur les poulies placées sous le truc milieu du sas mobile; de là, il s'élève le long du plan incliné; arrivé au sommet, il s'enroule trois fois autour de deux grandes poulies horizontales, dont l'une, la plus voisine de l'axe longitudinal de l'appareil, est actionnée par la turbine motrice; puis le câble redescend le long de la voie du wagon-contrepoids, embrasse la poulie de mouflage fixée à ce chariot, et remonte une seconde fois, pour s'attacher aux amarres en fer, scellées aux maçonneries de la tête du bief. Dans son trajet le long des voies, le câble est soutenu par des galets.

Voies. — La voie principale, inclinée au $\frac{1}{12}$, a une longueur de $182^m,80$; les deux voies latérales pour les

Digitized by Google

wagons-contrepoids ont chacune une longueur de $91^m,40$. La pente de ces voies latérales est plus forte que celle de la voie principale, elle est de $\frac{1}{10}$; toutefois, vers le haut, afin de compenser la perte de poids résultant de l'immersion du caisson dans le bief inférieur, elle est réduite à $\frac{1}{20}$ sur $21^m,94$ de longueur.

Chaque voie se compose de quatre files de rails en fonte, dont les profils sont indiqués sur les figures.

Le profil des rails intérieurs de la voie principale comporte une crémaillère latérale, dans laquelle font prise les linguets de sûreté; les autres rails sont à double T.

Chaque file de rails est fixée sur une longrine, boulonnée à une fondation en maçonnerie; ces longrines sont entretoisées par des traverses boulonnées.

La distance de deux files de rails voisines est de $1^m,43$.

La distance de l'axe de la voie principale à chacun des axes des voies des contrepoids est de $6^m,78$.

La largeur totale entre les rails extérieurs des deux voies des contrepoids est ainsi de $17^m,88$.

On a récemment remplacé la plus grande partie des rails en fonte par des rails en acier, dont le profil se rapproche de celui des rails dits *à pont*.

Mécanisme. — Le moteur est une turbine à axe vertical, alimentée par l'eau du bief supérieur, au moyen d'une conduite en fonte. Il mène, par l'intermédiaire d'engrenages et d'un embrayage pour renversement de marche, les deux grandes poulies horizontales disposées en haut du plan. Ces poulies sont à quatre gorges; elles sont en fonte, et leur diamètre est de $2^m,89$, comme celui des poulies des wagons-contrepoids. Vis-à-vis chacune d'elles, est une poulie de

Digitized by Google

même dimension; le câble de traction fait deux circonvolutions et demie autour du système des deux poulies correspondantes; puis ses deux extrémités redescendent le long du plan incliné, d'une part, dans la direction du sas mobile, d'autre part, dans la direction d'un des wagons-contrepoids.

La turbine met en mouvement, par engrenages, une petite pompe foulante, laquelle envoie l'eau à un accumulateur, sous une pression de 11 kilogrammes par centimètre carré. L'eau ainsi comprimée agit sur un piston de presse, dont la tête porte une poulie mouflée; le câble qui s'enroule sur cette poulie entraîne un arbre, qui peut s'embrayer avec l'arbre moteur des grandes poulies horizontales. Quand le caisson arrive en haut du plan, près de la fin de sa course, la presse hydraulique est mise en action, et applique la fourrure, qui garnit la tête du sas, contre le boudin en caoutchouc fixé sur le cadre du bief d'amont.

Manœuvres. — Le poids du sas plein d'eau, y compris les trucs, est de..... 390^{tn},0
Celui du sas, rempli seulement jusqu'au seuil des ventelles des portes, est de... 277 5
Celui de chaque wagon contrepoids est de.. 280 2

Le trafic se fait presque en entier à la descente; les bateaux avalants sont en général chargés; le sas, en remontant, ne transporte guère que des bateaux vides; dans ce cas, les ventelles de la porte d'aval restent ouvertes. On a soin d'ailleurs que le sas ne soit jamais entièrement plein, de telle sorte qu'au moment où il est mis en relation avec l'un ou l'autre des deux biefs, l'eau qu'il contient soit plus

Digitized by Google

basse que celle du bief, ce qui facilite beaucoup l'ouverture des portes.

Un seul homme suffit à la manœuvre de tout l'appareil; il a sous la main des leviers commandant les diverses parties du mécanisme, savoir :

Ventelle de commande de la turbine;
Changement de marche du mécanisme;
Distribution de la presse hydraulique;
Embrayage de la transmission de cette presse;
Clapet de vidange de l'espace compris entre la porte du bief et celle du sas.

Une opération complète dure environ huit minutes.

Observations diverses. — Les travaux ont été exécutés par la Compagnie des docks et écluses du Potomac; l'ouvrage d'entrée en rivière a été fondé par les procédés de M. Beaudemoulin; la partie métallique a été construite par les ateliers de Vulcain, à Baltimore.

Mentionnons deux accidents qui se sont produits sur ce plan incliné.

Le premier a eu lieu en novembre 1876, avant la mise en fonction de l'appareil; on expérimentait le lestage des contrepoids, et le sas, presque vide, était immergé dans le bief d'aval; tout d'un coup le système se mit en mouvement; les contrepoids descendirent sur leurs voies, et le sas mobile, remontant rapidement, vint heurter violemment la tête du bief amont.

Quelques jours plus tard, après une visite minutieuse, eut lieu la mise en exploitation.

Digitized by Google

Le 30 mai de l'année suivante, le sas mobile descendait en portant un bateau, lorsque l'un des câbles rompit ses amarres dans la tête du bief amont, à $0^m,30$ en arrière du parement. La poulie, puis le câble se brisèrent sous le choc; le sas et les contrepoids redescendirent rapidement la pente; les linguets d'arrêt arrachèrent les dents de la crémaillère; le chariot du sas déraillа et fut précipité dans l'eau du bief inférieur, dans lequel il s'immergea, sans que ni le bateau ni les hommes qui le montaient eussent à souffrir de dommages sérieux. Quant aux wagons-contrepoids, leur frein ne put arrêter leur descente, et ils furent en partie démolis.

État actuel du plan de Georgetown. — Voici quelques renseignements reçus récemment et qui donnent des indications intéressantes sur l'état actuel du plan incliné de Georgetown [1]. Cet appareil avait été projeté dans le but de transporter des bateaux à flot, et c'est dans ces conditions qu'il a fonctionné pendant près d'une année. A cette époque, il était question d'allonger de $2^m,50$ à 3 mètres les écluses du canal; on donna donc au caisson des dimensions suffisantes pour recevoir les plus grands bateaux. Mais ce projet ayant été abandonné, la longueur additionnelle donnée au sas roulant est devenue sans objet, et très fâcheuse au point de vue du poids mort à mettre en mouvement.

Ce poids est très considérable; il est réparti sur un nombre

[1] Ces renseignements sont dus à l'obligeance de M. Hutton, qui a construit le plan de Georgetown. La lettre qu'il nous envoie (5 octobre 1880) renferme des détails du plus grand intérêt; nous en donnons ci-après des extraits presque textuels.

Digitized by Google

de roues qui semble trop faible; la charge sur chaque roue est excessive, et a produit en peu de temps la dislocation de la voie en rails de fonte primitivement posée. Des rails en acier, de 50 millimètres de largeur au sommet, qu'on leur a substitués, se comportent assez bien; mais quelques-uns se sont écrasés sous le poids du caisson plein d'eau. En outre, les frottements dans le mécanisme ont de beaucoup dépassé les prévisions.

Pour obvier à toutes ces difficultés, on a pris le parti de faire descendre les bateaux chargés à sec; ils reposent sur le plancher du caisson; comme le fond de ces bateaux est plat, et porte bien également par toute leur surface, ils ne semblent pas souffrir de cet échouage.

Ainsi donc, lorsqu'un bateau avalant est entré dans le sas, on ferme la porte, et on fait écouler l'eau contenue dans le caisson.

Pour les bateaux montants, qui sont toujours lèges, on maintient dans le sas une hauteur d'eau de $0^{m},76$, suffisante pour faire équilibre aux contrepoids.

Les contrepoids sont répartis sur trois trucs, au lieu de quatre qui étaient primitivement en usage. L'adhérence des câbles sur les poulies à gorges est largement suffisante pour déterminer le mouvement dans un sens ou dans l'autre, excepté dans les cas, fort rares, où les eaux d'aval sont très hautes, et où le sas s'immerge dans le bas du plan avant que les contrepoids aient atteint la pente plus douce qui existe vers le haut de la voie qu'ils parcourent.

Peut-être se produit-il un léger glissement du câble sur les gorges des poulies, dû à quelque inégalité dans les diamètres; mais, en tout cas, c'est fort peu de chose. On pour-

Digitized by Google

rait sans doute substituer avec avantage aux poulies à gorges des poulies du système Fowler [1].

Les longrines sur lesquelles reposent les voies commencent à s'altérer; elles sont peut-être un peu faibles, eu égard aux efforts qu'elles ont à porter. Les fusées des roues supportent des charges énormes, dépassant 20 kilogrammes par centimètre carré (la charge étant supposée répartie sur la section diamétrale); néanmoins tous les mouvements sont fort doux et réguliers. Le graissage se fait à l'huile, comme dans le matériel des chemins de fer, au moyen de mèches de coton contenues dans des boîtes étanches; il est toutefois difficile d'empêcher l'eau d'y pénétrer quand le sas vient à s'immerger. Les surfaces de frottement restent constamment polies et douces au toucher.

On a vu plus haut que le serrage du sas contre la tête du bief amont était obtenu au moyen d'une presse hydraulique actionnée par un accumulateur. Ce dispositif, emprunté au plan incliné du canal Monkland, a été abandonné. L'expérience a montré que l'action de la turbine motrice suffisait pour obtenir un joint étanche, et que le mécanicien est assez maître de tous les mouvements pour que le contact du sas et de la tête du bief puisse être obtenu sans choc, et avec toute sécurité.

Le débouché de l'ouvrage du côté du canal est trop étroit, ce qui fait perdre du temps à l'entrée et à la sortie. Néan-

[1] Les poulies Fowler ont pour objet d'actionner les câbles en fil de fer, sur lesquels sont attelées les charrues pour le labourage à la vapeur; la jante est constituée par une gorge, formée d'articles ou mâchoires qui se resserrent par la pression du câble au fond de la gorge, pincent ce câble et en déterminent l'entraînement. Cette poulie a reçu des applications nombreuses dans le touage mécanique.

Digitized by Google

moins les opérations se font avec une rapidité suffisante. On passe sans difficulté plus de quarante bateaux en dix ou onze heures; on pourrait, moyennant quelques améliorations de détail, dépasser notablement ce chiffre.

Voici, comme exemple du temps employé à la manœuvre, le détail d'une opération faite le 5 octobre 1880 :

A l'approche d'un bateau traîné par un remorqueur sur le Potomac, on fit descendre le caisson, alors placé en haut du plan.

Temps pour la descente du sas dans le bief inférieur	3 minutes.
Entrée et amarrage du bateau dans le sas	5 $\frac{1}{2}$
Ascension sur le plateau incliné	3
Remplissage du caisson	4
Sortie du bateau	1
TOTAL	16 $\frac{1}{2}$

Toutes ces opérations ont été faites à loisir et sans se presser, aucun autre bateau ne demandant alors le passage.

ÉLÉVATEUR DU GRAND-WESTERN-CANAL [1].

(Planche VI.)

Description générale. — Le canal Grand-Western, en Angleterre, a été construit principalement pour transporter la houille et la terre à briques. L'exploitation se fait par convois de quatre à huit petits bateaux, traînés par un

[1] *Transact. of civil Engin.*, 1838, p. 185 et pl. XVI, XVII, XVIII. — Malézieux, *Navig. intér.*, pl. XCIX. — Mary, p. 39 et pl. XV.

Digitized by Google

cheval. Chaque bateau porte 8 tonnes et ses dimensions sont :

Longueur	$7^m,93$
Largeur	1 98
Tirant d'eau en charge	0 69

La hauteur d'eau dans le canal est de $0^m,91$.

La navigation par convois exige nécessairement des biefs très longs; ce qui, pour une voie navigable artificielle, conduit presque toujours à accumuler les pentes sur un petit nombre de points, et à franchir de grandes hauteurs sur un parcours restreint. C'est pour cet objet qu'a été construit l'élévateur dont il s'agit. La chute qu'il rachète a une hauteur de $14^m,02$.

L'appareil se compose de deux sas mobiles en bois, suspendus à des chaînes, et se faisant l'un à l'autre équilibre autour de trois grandes poulies à axe horizontal; ces sas sont munis à leurs extrémités de portes glissantes, qui les raccordent successivement avec l'un et l'autre des biefs; chacun d'eux se meut verticalement dans un grand puits rectangulaire, l'un montant quand l'autre descend.

Sas mobiles. — Les sas mobiles sont des caisses rectangulaires en bois, renforcées par des cornières en fer. Le fond est un fort châssis en charpente. Trois ceintures verticales en fer plat les enveloppent, et se continuent vers le haut, pour s'amarrer à une poutre horizontale en fonte, qui est saisie par les chaînes de levage. Aux deux bouts du sas sont des châssis en fonte qui reçoivent les portes, en forme de vannes glissantes, et qui s'appuient successivement sur les têtes de l'un et de l'autre bief par des portées ajustées.

Digitized by Google

Maçonnerie. — Tout l'appareil fonctionne dans un grand puisard vertical, divisé en deux compartiments par un mur solide, sur lequel reposent les appuis des grandes poulies.

Dans chaque compartiment viennent s'ouvrir, dans le haut et dans le bas, les orifices qui donnent communication avec les biefs amont et aval. Ces ouvertures sont fermées par des portes glissantes, manœuvrées au moyen de chaînes. Le fond du puisard est placé au-dessous du plafond du bief aval, assez bas pour que l'eau qui s'y rassemble ne gêne pas la manœuvre; cette eau s'écoule par un tuyau spécial. Le mur de face et le mur de refend sont percés de nombreuses baies, qui laissent circuler l'air et la lumière et donnent un accès facile à toutes les parties du mécanisme.

Mécanisme. — Les poulies qui reçoivent les chaînes de levage sont au nombre de trois; elles sont en fonte et ont $4^m,88$ de diamètre. Chaque poulie est montée sur un tronçon d'arbre en fonte, rendu solidaire des arbres des poulies voisines au moyen d'un embrayage fixe, de sorte que les trois poulies se meuvent avec la même vitesse angulaire. La poulie médiane est munie d'une couronne dentée, et reçoit l'action d'un engrenage mû par une manivelle à main; le mouvement est modéré par un frein à ruban, monté sur cet engrenage.

Tout le système est porté sur le sommet du puisard par un solide bâti en fonte.

Les chaînes sont en fer forgé, et d'une forme se rapprochant beaucoup de celle dite *chaîne de Gall.* Chaque bout se termine par un solide boulon fileté, qui traverse la poutre de suspension du sas, et est saisi par un écrou; on

Digitized by Google

peut ainsi régler avec précision la longueur de course des sas mobiles. Deux brides obliques en fer, avec vis de rappel, frappées sur les extrémités des mêmes poutres, en assurent l'horizontalité.

Ainsi qu'on le verra plus loin, le mouvement du système résulte d'une légère différence de poids entre les deux sas. Le poids des longueurs variables de chaînes, suspendues de part et d'autre des poulies, entre donc en jeu dans le fonctionnement de l'appareil. Ces différences sont équilibrées au moyen de chaînes à maillons, de même poids par mètre que les chaînes de suspension; elles sont pendues sous le fond du sas, et leur bout inférieur repose sur le fond du puisard; on voit que les longueurs cumulées de la chaîne de compensation, depuis le fond du puits, et de la chaîne de suspension, jusqu'à l'axe de la poulie, constituent ainsi un poids constant, qui n'intervient pas dans les conditions d'équilibre du système.

Manœuvres. — Chaque sas, au bas de son excursion, porte sur une charpente horizontale, fixée au fond du puisard. La longueur des chaînes de suspension est réglée de telle sorte que la course verticale du sas soit de 5 centimètres plus petite que la différence de niveau entre les deux biefs.

Supposons un des sas au haut de sa course. Lorsqu'on le mettra en communication avec le bief amont, il y entrera un volume d'eau représenté par une tranche d'eau de 5 centimètres de hauteur, c'est-à-dire un lest d'eau supplémentaire d'environ 1 tonne; ce lest suffit pour surmonter les frottements et l'inertie, et déterminer le mouvement. Cette tranche d'eau s'écoulera dans le bief aval, quand on mettra le sas en communication avec ce bief.

Digitized by Google

Quand le sas arrive à la hauteur du bief amont, il reste un jeu de 12 millimètres entre le cadre de la porte de ce sas et celui de la porte du bief. Le sas est alors poussé par une forte barre horizontale en fonte, manœuvrée par un verrin qui l'appuie contre la tête du bief, et forme ainsi joint étanche. Il ne reste plus alors, entre les parements des deux portes en regard, qu'un espace nuisible extrêmement faible.

La porte du bief amont est levée au moyen de chaînes s'enroulant sur un treuil; un fort verrou, qu'un homme pousse du pied, suffit pour rendre cette porte solidaire de celle du sas, qu'elle entraîne dans son mouvement d'élévation. Au moment de la levée rapide de ces portes, il se produit, comme au plan de Blackhill, une répercussion de l'onde, et le bateau est entraîné de lui-même hors du sas.

Pour déterminer le départ, une fois le frein dégagé, il suffit de desserrer le verrin qui pousse le sas supérieur contre la tête du bief amont; l'appareil se met immédiatement en mouvement.

Au moment d'arriver au bas de sa course, le sas rencontre deux coins en fer, contre lesquels il glisse, et qui l'appuient, à joint étanche, contre la tête du bief aval. Deux ergots en fer, en saillie sur le parement de la porte du sas, sont saisis par des mortaises correspondantes, pratiquées dans la porte du bief aval, de sorte que les mouvements de ces deux portes sont solidaires; elles sont manœuvrées ensemble, au moyen de treuils et de chaînes amarrées à la porte du bief.

La durée d'une opération est de trois minutes.

Cet élévateur a été construit, vers 1838, par M. James Green. Cet ingénieur en attribue la première idée au docteur James Anderson, qui aurait écrit une note sur ce sujet, en 1796, dans sa *Description agronomique du Comté d'Aberdeen.*

Digitized by Google

ÉLÉVATEUR HYDRAULIQUE D'ANDERTON[1].

(Planche VII.)

Cet appareil remarquable a été l'objet d'une description publiée dans les *Annales industrielles* en 1876. Depuis cette époque, il a été visité à plusieurs reprises par des ingénieurs de l'État, qui en ont fait une étude attentive, ont suivi avec le plus grand soin son fonctionnement, et proposé à l'Administration d'essayer l'application de systèmes analogues sur certains points de nos voies navigables. Nous résumons ci-dessous les résultats de ces études.

Canal de Trent et Mersey. — Le canal du Grand Trunck, ou canal de Trent et Mersey, construit vers la fin du siècle dernier, sur les plans de Brindley, sert de tronc commun à un réseau considérable de lignes navigables, qui réunissent Liverpool aux centres industriels répartis dans le sud et l'est de l'Angleterre, et notamment aux grands ports de Londres, de Hull et de Bristol. Il s'embranche, à Preston Brook, sur le canal du duc de *Bridgewater*, qui tombe, à quelque distance de là, dans la Mersey. Dans cette partie de son parcours, le canal longe la Weaver, rivière importante près de son embouchure dans la Mersey, et qui est le siège d'une navigation active.

Depuis longtemps il était question de pratiquer à Anderton une jonction entre la rivière et le canal, afin d'éviter le transbordement des marchandises.

L'idée d'employer des écluses dut être écartée, à cause

[1] *Ann. indust.* 1876, col. 649, 678, 720 et pl. XCV et XCVI. — Bellingrath, p. 203 et pl. VIII. — De Mas et Vétillart. — Berthet. — Bertin. — Quinette de Rochemont. — *Min. of Proceedings*, vol. XLV, p. 107.

Digitized by Google

des ressources insuffisantes de l'alimentation du canal. Après de nombreuses études, M. E. L. Williams, sur les conseils de M. Edwin Clark, se décida pour le système d'élévateur hydraulique dont nous allons donner la description.

Dispositions générales. — Le canal est tracé au sommet d'un coteau rapide, dont le pied est baigné par la Weaver, qu'il domine d'une hauteur de $15^{m},35$.

L'élévateur est établi dans une île qui partage la rivière en deux bras inégaux; il est construit au-dessus d'une fosse à parois maçonnées, reliée au bras navigable de la rivière au moyen d'un chenal artificiel; le sommet de l'élévateur communique, à l'aide d'un pont-canal en fer, qui passe au-dessus du petit bras de la rivière, avec un bassin qui fait partie du bief du canal.

Comme l'élévateur du Grand-Western-Canal, celui d'Anderton se compose de deux caissons, ou sas pleins d'eau, dans lesquels flottent les bateaux; l'un monte quand l'autre descend. Ces deux sas, ayant les mêmes dimensions, se font équilibre quand l'eau est tenue dans l'un et dans l'autre à la même hauteur. Mais ici ce n'est plus par l'intermédiaire de chaînes et de poulies que cet équilibre s'établit : la transmission des forces se fait par l'eau comprimée.

Tel est le point caractéristique du système. Chaque sas repose sur la tête d'un énorme piston de presse hydraulique, dont le cylindre s'enfonce dans le sol qui forme le fond de la rivière; les deux cylindres sont égaux et reliés par un tuyau; le volume d'eau compris entre les deux pistons est dès lors invariable, et l'un des sas ne peut descendre sans que l'autre remonte d'une quantité précisément égale. Pour déterminer le mouvement de cette balance hydraulique dans un sens

Digitized by Google

ou dans l'autre, il suffit d'ajouter dans l'un des sas un lest d'eau supplémentaire, qui surmonte les résistances dues aux frottements et à l'inertie.

Chaque sas, arrivé au haut de sa course, se raccorde, à joint étanche, par son extrémité avec la tête du bief supérieur. Le même système ne pouvait, à Anderton, être appliqué pour la communication avec le bief aval, qui est ici une rivière et non pas un canal. Ainsi, dans le bas, le sas s'immerge dans l'eau de la rivière, et la porte n'est ouverte que lorsque les plans d'eau se sont mis de niveau à l'intérieur et à l'extérieur du caisson. Mais au moment de cette immersion, le sas descendant perd une partie de son poids; il cesse donc de faire équilibre au sas montant; la machine s'arrêterait et n'irait pas à fond de course, sans les dispositions spéciales dont nous allons indiquer le principe.

La communication entre les deux cylindres est établie, non par un simple tuyau à robinet, mais par une distribution permettant de mettre chaque cylindre en relation, soit avec le cylindre voisin, soit avec un échappement sans pression, soit enfin avec une conduite d'eau comprimée. Le jeu de ce système est facile à comprendre. Lorsque le mouvement de l'appareil s'arrête, par suite de l'immersion partielle du sas descendant, on ferme la communication entre les deux cylindres; puis, en manœuvrant convenablement la distribution, on met le cylindre du sas descendant en relation avec l'échappement, et son propre poids lui fait achever son excursion; de son côté, le cylindre du sas montant est mis en relation avec l'eau comprimée, qui achève de l'élever jusqu'au niveau du bief supérieur.

Quant au lest d'eau supplémentaire du sas descendant,

Digitized by Google

on l'obtient par un artifice analogue à celui employé au Grand-Western-Canal.

La hauteur de l'eau dans le sas montant est réglée par des déversoirs d'une forme particulière, de telle sorte qu'elle soit toujours plus petite que dans l'autre sas.

Dimensions principales. — L'élévateur d'Anderton rachète une chute de $15^m,35$ de hauteur.

Chaque sas a $22^m,85$ de long et $4^m,73$ de large; avec une hauteur d'eau minima de $1^m,37$, il admet, soit un bateau chargé de 80 à 100 tonnes, soit deux bateaux de 30 tonnes.

Le poids d'un sas plein d'eau est d'environ 240 tonnes; le diamètre du piston de chaque presse est de $0^m,91$, correspondant à une pression de 37 kilogrammes par centimètre carré. La hauteur d'eau est de $1^m,37$ dans le sas montant et de $1^m,52$ dans le sas descendant; la prépondérance de ce dernier est donc représentée par une tranche d'eau de $0^m,15$ de hauteur, correspondant à un poids d'environ 15 tonnes, soit à peu près 3 p. o/o du poids total des masses en mouvement. Ce poids de 15 tonnes répond à une pression de $2^k,3$ par centimètre carré de l'aire de chaque piston.

Le diamètre de l'accumulateur est de $0^m,53$ et sa course de $4^m,11$.

Sas mobiles. — Les sas mobiles sont de grands caissons en tôle. Les parois latérales sont constituées par de solides poutres pleines, en forme de ventre de poisson, ayant $22^m,85$ de longueur, $2^m,90$ de hauteur au milieu, et $2^m,28$ aux extrémités. Elles sont reliées dans le bas par

Digitized by Google

des poutrelles de $0^m,52$ de hauteur, et la rigidité de l'assemblage est assurée par de larges goussets extérieurs; enfin le grillage, sur lequel repose le fond en tôle du caisson, est complété par des longrines de $0^m,22$ de hauteur. Les deux grandes poutres longitudinales reposent, en leur milieu, au moyen d'un solide assemblage, sur la tête du piston, et lui transmettent la pression résultant du poids de tout le caisson. Cet assemblage est formé par un sabot en fonte, de $1^m,07$ de hauteur, alésé pour s'adapter à la tête du piston, et qui forme le centre d'un fort croisillon en tôle et cornières, lequel s'assemble à la semelle inférieure des poutres longitudinales.

Les deux extrémités du sas sont armées d'un cadre en fonte, formant glissières pour les portes; de plus, le cadre qui regarde le pont-canal est disposé de manière à faire joint avec la tête de ce pont.

Presses hydrauliques. — Les presses hydrauliques qui supportent les sas sont constituées, comme celles que l'on voit souvent dans les ascenseurs, par un long piston plongeur en fonte, exactement tourné au diamètre de $0^m,91$.

Ce piston pénètre dans le corps de pompe, qui est également en fonte, par un presse-étoupe, placé dans une logette en fonte, qui permet de le graisser et de refaire le joint.

Le toit de cette logette, traversé par le piston, est muni également d'un presse-étoupe, pour empêcher l'invasion de l'eau de la rivière.

Le piston et son cylindre sont l'un et l'autre en trois longueurs, assemblées par brides et boulons; les joints du piston sont faits au minium; ceux du cylindre sont faits également au minium, mais avec intercalation d'un anneau

Digitized by Google

en fil de plomb, lequel, en s'écrasant sous la pression des boulons, donne une étanchéité complète. Les presses, les tuyaux et toutes les pièces ont été essayées, avant la mise en place, à une pression de 46 kilogrammes par centimètre carré.

Les corps de pompe sont disposés dans un puits formé de tuyaux de fonte de $1^m,68$ de diamètre, enfoncés dans le sol au moyen de l'air comprimé. Leur pied, ajusté dans une plaque de fondation en fonte, repose, par l'intermédiaire de deux cours de madriers croisés, de $0^m,10$ d'épaisseur, sur un lit en béton de ciment de Portland; du béton a été également coulé sur le pourtour de la plaque de fondation, pour la rendre solidaire avec la virole en fonte qui forme la base du revêtement du puits. La dernière virole du haut contribue également à soutenir le corps de pompe, et transmet la charge au sol avoisinant au moyen d'une large nervure.

Pont-canal. — Le pont-canal franchit le petit bras de la Weaver, soutenu par des colonnes en fonte. Sa largeur est de $10^m,45$, et sa longueur de $49^m,53$, divisée en trois travées, de $9^m,14$, $22^m,86$, $17^m,53$, cette dernière aboutissant au bief du canal de Trent et Mersey. Il est constitué par trois poutres longitudinales en tôle, formant les parois de deux bâches qui correspondent aux ouvertures des deux sas.

Ces poutres, en forme de double T, ont $2^m,59$ de hauteur. Elles son tentretoisées par des poutrelles, de $0^m,53$ de hauteur, qui forment, avec des longrines de $0^m,23$, le grillage sur lequel repose le plancher en tôle. Des goussets complètent l'assemblage des poutres et des poutrelles; de

Digitized by Google

plus, des arcs en tôle supérieurs contribuent au contreventement.

Le tirant d'eau dans le pont-canal est de $1^m,60$. Le poids total, eau et métal, est de 1,070 tonnes.

Les colonnes de fonte qui soutiennent les poutres forment trois palées : la première est contiguë à l'élévateur, les deux autres sont élevées sur les deux rives du petit bras de la Weaver.

L'extrémité de la double bâche porte sur une plaque en fonte, encastrée dans la maçonnerie formant la paroi du canal ; cette plaque est assemblée, au moyen de boulons, avec le bord de la tôle de fond des bâches, et le joint est enduit de minium et calfaté ; les joints verticaux sont étanchés par une fourrure en bois, et un coulis de ciment qui la réunit à la maçonnerie.

Les colonnes des palées intermédiaires reposent sur un soubassement en béton de ciment, coulé dans une enveloppe en fonte.

Guidage. — Dans les ascenseurs hydrauliques ordinaires, les poids de la cabine et du piston sont équilibrés presque entièrement par des contrepoids, de telle sorte que, sur la plus grande partie de la longueur, le métal du piston ne travaille qu'à la traction ; on peut, dans ces conditions, ne lui donner qu'un diamètre très petit par rapport à sa longueur.

A Anderton, il en est tout autrement ; le piston porte la totalité de la charge constituée par le sas plein d'eau ; il travaille comme une colonne chargée de bout ; il est donc nécessaire, d'une part, que son diamètre soit assez considérable (il est ici de $\frac{1}{17}$ de la course), et, d'autre part, que la

Digitized by Google

charge soit guidée, dans son mouvement vertical, avec une très grande précision.

Pour répondre à cette dernière condition, on a muni les quatre angles de chaque sas de patins en fonte d'une grande hauteur, glissant dans des guides fixés à des colonnes verticales. Guides et patins sont soigneusement dressés et ajustés. Les colonnes elles-mêmes doivent être parfaitement stables et solidement contreventées, pour résister à toute poussée oblique. L'ensemble de ces colonnes constitue une charpente métallique qu'il est intéressant d'étudier.

Les colonnes-guides sont disposées comme il suit : une colonne à chaque angle de la fosse, une colonne au milieu des petits côtés du rectangle, enfin, du côté de la rivière, une colonne implantée sur le prolongement de l'axe longitudinal de l'appareil, et formant culée triangulaire avec les trois colonnes-guides voisines. Ces colonnes reposent sur une solide fondation en brique et béton, dans laquelle leur pied est noyé; elles sont en outre remplies de ballast.

Les trois colonnes du côté du pont-canal sont vigoureusement reliées aux colonnes voisines, servant de support à ce pont. Les quatres colonnes de la culée triangulaire, du côté de la rivière, sont rendues solidaires entre elles par des poutrelles de tête et un ensemble complet d'entretoises et de contreventements. Entre ces deux points d'appui règne une double ceinture d'entretoises : au sommet, une poutre en treillis portant la passerelle de manœuvre; à mi-hauteur, des poutrelles en double T horizontales, suspendues par des tringles au treillis supérieur.

Pour faciliter les réparations, on a ménagé entre les colonnes-guides assez d'espace pour que le sas, détaché de son piston et flottant comme un bateau, puisse être conduit

Digitized by Google

hors de la fosse. En outre, celle-ci peut être isolée de la rivière au moyen d'un batardeau provisoire en bois, de manière à constituer une enceinte facile à épuiser.

Portes et joints. — Chaque sas est muni, à ses deux extrémités, d'une porte de tôle en forme de vanne levante; ces portes glissent dans des rainures pratiquées dans un châssis en fonte, fixé à la tête du sas, et qui, se prolongeant vers le haut, sert à la fois de contreventement supérieur et de point d'appui aux poulies de renvoi des chaînes de levage.

Ces chaînes sont au nombre de trois pour chaque porte : deux chaînes amarrées au bord supérieur de la porte, près de ses extrémités, sont renvoyées à des contrepoids; l'autre chaîne, qui est en réalité la chaîne de levage, passe sur une poulie mouflée, attachée à la porte, et va s'enrouler sur un petit treuil à main qui sert à la faire mouvoir.

Le poids d'une porte est de 1,350 kilogrammes; il est presque entièrement équilibré par les contrepoids.

Les cadres de support des chaînes sont assez hauts pour que les portes, une fois levées, laissent en dessous un passage de $2^{m},28$ de hauteur au-dessus du plan d'eau, suffisant pour les plus grands bateaux fréquentant le canal. La levée d'une porte dure environ une minute et demie.

Ces cadres sont munis intérieurement d'un boudin de caoutchouc, qui forme joint sur les deux côtés verticaux et le bas de la porte, lorsque celle-ci est appuyée par la pression de l'eau.

Chacune des deux bâches qui constituent le pont-canal se termine, à ses deux extrémités, par des portes semblables à celles des sas, et se manœuvrant de la même manière. La

Digitized by Google

porte qui regarde l'élévateur doit être levée et baissée à chaque manœuvre; la porte opposée joue principalement le rôle de porte de garde.

Le sas, arrivé au haut de sa course, doit faire suite au bief, et former avec lui joint étanche. A cet effet, les extrémités correspondantes du sas et du pont-canal sont taillées en biseau, suivant deux plans inclinés parallèles; l'ouverture du sas est encadrée par une garniture en bois, celui de la bâche par un boudin en caoutchouc, de 76 millimètres de diamètre, fixé par des attaches en fonte malléable; le mouvement ascensionnel du sas suffit pour comprimer le boudin et assurer une étanchéité parfaite. Les portes en regard sont profilées de telle sorte, qu'une fois le sas amené dans le prolongement du bief, il ne reste entre elles qu'un espace nuisible très faible; cet espace peut être rempli par une petite vanne s'ouvrant à travers la porte de l'aqueduc, et vidé par un tuyau conduisant l'eau dans le bief intérieur.

Accumulateur et machines. — Les machines, les chaudières et l'accumulateur sont placés sous la première travée du pont-canal, du côté de l'élévateur.

L'accumulateur se compose d'un piston plongeur chargé d'un lest en maçonnerie; son diamètre est de $0^m,53$, sa course de $4^m,11$; il peut ainsi contenir une réserve d'eau comprimée suffisante pour faire parcourir à l'un des sas une levée de $1^m,37$. Il est chargé par une machine à vapeur qui agit sur des pompes foulantes ordinaires.

Comme on l'a vu plus haut, chacune des deux presses communique, par des robinets spéciaux, avec la presse voisine, avec l'accumulateur et avec l'échappement, lequel se fait dans le bief supérieur; il y a donc en tout cinq robinets,

Digitized by Google

savoir : un robinet de communication, deux allant à l'accumulateur (un pour chaque presse), deux à l'échappement. Tous ces robinets sont manœuvrés par un seul mécanicien, qui les actionne au moyen de transmissions. Les cinq volants qui commandent ces robinets sont groupés dans une cabine élevée au-dessus de la tête du pont-canal, et les positions de ces différents volants traduisent aux yeux celles des robinets qu'ils commandent, de manière à écarter les erreurs et les fausses manœuvres.

Les divers tuyaux sont revêtus de feutre et munis de bouchons de vidange, afin d'éviter les effets des gelées.

Déversoirs-régulateurs. — Quand un des sas descend dans la fosse, il faut toujours qu'il s'immerge d'au moins $1^m,52$, afin que les bateaux puissent y entrer et en sortir facilement, et cette immersion est parfois plus grande quand la rivière est en crue. Dans ces conditions, la hauteur d'eau dans ce sas serait au moins aussi grande que dans le sas descendant. Or il est nécessaire, comme on l'a vu, que la hauteur d'eau dans le sas ascendant soit de $0^m,15$ moins grande que dans le sas descendant.

Ce résultat a été obtenu par un moyen aussi simple qu'ingénieux. On a, à cet effet, attaché au flanc des sas des déversoirs d'une forme spéciale, et que nous allons décrire :

Qu'on imagine un siphon dont la petite branche plonge dans l'eau du sas jusqu'au niveau que doit atteindre l'eau dans le sas ascendant; le coude supérieur est placé au-dessus du niveau de l'eau dans le bief descendant; la grande branche, qui est extérieure au sas, a dans sa partie basse une section beaucoup plus large que l'autre.

Actuellement, quand le sas s'immerge dans le bief infé-

Digitized by Google

rieur, le siphon se remplit d'eau qui refoule l'air à travers l'eau du sas. Lorsque ensuite le sas s'élève au-dessus du niveau ambiant, ce qui reste d'air est aspiré par la branche extérieure, et d'autant plus vite que la section de cette branche est plus grande. Le siphon s'amorce et fonctionne pour vider le sas, dont l'eau s'abaisse, jusqu'à ce que, l'orifice de la petite branche venant à émerger, l'air rentre et l'écoulement cesse.

Douze déversoirs pareils sont attachés aux parois longitudinales de chacun des sas.

Dispositions diverses. — Signalons encore quelques détails inséressants.

Les appareils mécaniques, tels que ceux dont il est ici question, ne fonctionnent régulièrement qu'à la condition d'être tenus constamment en bon état, bien réglés et bien graissés. L'entretien des presse-étoupes exige surtout une surveillance assidue. Aussi, les constructeurs se sont-ils attachés à disposer tous les joints de telle sorte que l'accès et la visite en soient faciles.

Les presse-étoupes des deux pistons sont enfermés dans une galerie en métal, passant sous le lit de la rivière, et à laquelle on accède par un puits muni d'un escalier. Les pistons traversent le toit de cette galerie par un contre-presse-étoupes, dont la tenue exige moins de soin, parce que la pression de l'eau est faible et que, d'ailleurs, des fuites légères ne présenteraient pas ici de graves inconvénients. Le tuyau de communication entre les deux presses est disposé dans la même galerie, ainsi que le robinet placé sur ce tuyau. Tous les autres tuyaux et robinets sont à l'extérieur et facilement accessibles.

Digitized by Google

L'accumulateur est pourvu des appareils de sûreté ordinaires. En outre, un dispositif spécial a pour objet d'empêcher que, par suite de l'inattention de l'homme chargé de la manœuvre, le sas montant ne s'élève au-dessus du niveau auquel il doit s'arrêter. A cet effet, lorsque le sas est arrivé à sa hauteur normale, un taquet qui lui est fixé vient toucher une soupape branchée sur le tuyau de communication entre l'accumulateur et la presse. Si le sas continue son mouvement ascensionnel, la soupape s'ouvre, l'eau s'échappe, la pression tombe et le sas s'arrête, en même temps que, averti par le bruit que fait l'eau en sortant de la soupape sous forte pression, le mécanicien peut fermer immédiatement le robinet de l'accumulateur.

Une passerelle en bois est installée sur la ceinture en treillis qui couronne l'appareil; elle se continue avec la passerelle établie sur les deux poutres de rive du pont-canal.

La cabine du mécanicien, élevée au-dessus de la tête du pont, assez haut pour que les bateaux puissent passer par dessous, a vue sur tout l'appareil. Des escaliers en bois donnent accès aux diverses parties.

Fonctionnement et manœuvres. — Les détails qui précèdent suffisent pour faire comprendre facilement comment s'opèrent les manœuvres.

Supposons les deux sas en route : l'un A montant avec une hauteur d'eau de $1^m,37$, l'autre B descendant avec une hauteur d'eau de $1^m,52$. Les deux presses communiquent librement, et, en cas de besoin, la vitesse est modérée par une fermeture partielle du robinet de communication. Quand le sas B commence à s'immerger dans le bief aval, le mouve-

Digitized by Google

ment s'arrête; le mécanicien ferme alors la communication entre les deux cylindres, et met le sas B en relation avec l'échappement, et le sas A en relation avec l'accumulateur; les deux sas achèvent leur course; le mécanicien ferme tous les robinets.

A ce moment, le sas B est immergé de telle sorte que le niveau de l'eau extérieur atteigne ou dépasse le niveau intérieur; les portes cessent donc d'appuyer sur leur siège en caoutchouc; on lève celle qui regarde le chenal; le bateau contenu dans le sas sort librement, et est remplacé par un bateau montant; puis on baisse la porte. En même temps le sas A est venu appliquer sa tête en biseau contre le boudin en caoutchouc qui garnit la tête du pont-canal; le joint est donc fait. On remplit l'espace nuisible; la porte de l'aqueduc, également pressée sur ses deux faces, se lève facilement; la porte du sas, étant alors détachée de son siège par la pression extérieure, peut être levée à son tour; le sas reçoit du pont-canal la tranche d'eau complémentaire de 15 centimètres. Le bateau peut alors sortir, et, dès qu'il a franchi le pont-canal, qui ne présente qu'une voie à son passage, un second bateau est amené par le même chemin. Les portes du pont et du sas sont refermées, et l'on fait écouler l'eau contenue dans l'espace nuisible.

A ce moment, tout est prêt pour une nouvelle manœuvre : il suffit d'ouvrir la communication entre les deux presses, pour que les deux sas se mettent en mouvement. Au départ, le sas B étant immergé, la prépondérance du sas A est considérable; mais elle décroît rapidement. A mesure que le sas B s'élève, l'excès d'eau qu'il contient s'échappe par les déversoirs régulateurs, et l'eau s'y établit promptement à une hauteur de $1^{m},37$.

Digitized by Google

La durée complète d'une opération est d'environ un quart d'heure [1].

Tous les ingénieurs qui ont visité l'appareil d'Anderton s'accordent à reconnaître la régularité parfaite et l'aisance du fonctionnement.

Le système des deux sas équilibrés est d'une manœuvre facile et rapide; il n'exige qu'une faible dépense de force motrice. La machine à vapeur n'intervient que pour faire parcourir au sas montant la dernière partie de sa course, sur 1m.37 de longueur: elle n'a donc à fournir que $\frac{1.37}{15.35}$ soit 9 p. 0 0 environ du travail d'élévation. Toutefois, si l'une des presses venait à se déranger, l'autre presse pourrait à la rigueur faire le service: mais la machine aurait alors à fournir la totalité du travail, et la marche se trouverait considérablement ralentie.

Observations diverses. — L'élévateur d'Anderton a été mis en service en juillet 1875.

La conception et les dessins sont dus à M. Edwin Clark; l'exécution a été surveillée par M. Sydengham Duer, assistant de M. Clark. Les maçonneries et le fonçage des puits ont été faits par la Commission de la Weaver, avec M. Sandeman comme directeur.

La partie métallique et les machines ont été construites et montées par MM. Emmerson, Murgatroyd et Co (de Stockport et Liverpool).

[1] M. l'ingénieur en chef Bertin indique 19 minutes. M. Sandeman affirme qu'en une heure on peut faire passer 16 bateaux: 8 montant, 8 avalant. Il s'agit ici de petites barques de 25 tonnes de chargement utile, qui peuvent se loger deux par deux dans les sas, ce qui conduirait à quatre opérations complètes par heure.

Digitized by Google

D'après M. Sandeman, les dépenses d'installation ont été les suivantes :

	Liv. sterl.	Francs.
Partie métallique et machines....	29,463	743,000
Fondations, fosse, abords, bassins.	18,965	478,000
Totaux.....	48,428	1,221,000

Les dépenses par semaine peuvent être calculées comme il suit :

	Liv. sterl.	Francs.
Personnel et entretien.....	15	378
Intérêts et amortissement à 10 p. 0/0..	93	2,345
Totaux.....	108	2,723

Les prix de premier établissement peuvent être considérés comme fort considérables, par suite des circonstances locales, qui ont nécessité la construction d'un pont-canal de grande longueur, et par suite du cours élevé des fers au moment des marchés passés avec les usines.

Digitized by Google

Digitized by Google

RÉSUMÉ.

Nous venons de passer en revue les principaux systèmes essayés jusqu'à ce jour dans le but de remplacer les écluses à sas.

Actuellement, on peut se demander s'il y aurait utilité d'essayer l'application de l'un ou de l'autre de ces appareils sur quelques-unes des lignes navigables de notre pays. La question ne peut guère se poser que pour les canaux neufs à construire, ou, tout au moins, pour ceux soumis à un remaniement important; elle n'aurait que dans des cas bien rares un intérêt sérieux, s'il s'agissait de canaux munis d'écluses et construits dans des conditions qui répondent aux exigences actuelles de la navigation.

Nous n'essayerons pas, bien entendu, de résoudre cette question, même limitée à ces termes restreints. Toutefois il ne sera pas hors de propos de résumer sommairement quelques-unes des idées émises par les ingénieurs éminents, français ou étrangers, qui ont étudié et discuté les appareils dont il s'agit.

Les élévateurs mécaniques comparés aux écluses à sas. — Les inconvénients que présentent les écluses à sas ont été indiqués dans le cours de la présente notice; ils se réduisent à deux points essentiels :

1° Grande lenteur dans les manœuvres, entraînant, en premier lieu, une réduction importante dans la capacité de

Digitized by Google

trafic de la voie navigable, et, en second lieu, l'éviction presque complète de la navigation accélérée, et surtout de la traction mécanique, considérées aujourd'hui l'une et l'autre comme indispensables pour l'abaissement du prix du fret;

2° Grande consommation d'eau, et, comme conséquence, difficultés de l'alimentation, et sujétions souvent fort sérieuses dans l'assiette du tracé.

Les inconvénients résultant de la lenteur des manœuvres sont d'autant plus graves, que les écluses sont plus multipliées, c'est-à-dire que les pentes du profil en long sont plus fortes; ceux résultant de la consommation d'eau se font surtout sentir dans les pays où l'eau est rare; enfin les uns et les autres sont considérablement aggravés, si la navigation présente une grande activité.

Il est clair que, si l'essai pratique des élévateurs mécaniques est tenté dans notre pays, les premières applications doivent être faites là où les écluses à sas seraient insuffisantes, c'est-à-dire dans les cas où les circonstances qui viennent d'être rappelées se présentent avec un haut degré d'intensité.

Les élévateurs et plans inclinés, dont on a lu plus haut la description, présentent-ils sur les écluses à sas une supériorité notable? C'est ce que nous allons examiner.

Question de la dépense d'eau. — En ce qui concerne la consommation d'eau, la réponse est évidente. Au point de vue de l'utilisation du travail mécanique, résultant de la chute de l'eau le long d'un versant de canal, les écluses à sas sont des machines extrêmement défectueuses, et dont le rendement est tellement faible, que la dépense d'eau pour le sassement d'un bateau est à peu près la

Digitized by Google

même, que le bateau monte ou descende, qu'il soit plein ou vide; autrement dit, le travail utile est presque négligeable, en présence de l'énorme quantité de travail perdu à chaque opération. Ce travail perdu se consomme uniquement en remous et en corrosions des berges et des talus.

Il en est tout autrement avec les élévateurs mécaniques. Parmi les systèmes que nous avons examinés, les uns (élévateur du Grand-Western-Canal) ne dépensent qu'une quantité d'eau représentant presque exactement le travail d'élévation des charges, augmenté de celui des frottements; à l'inverse des écluses, ces appareils contribuent à l'alimentation du bief supérieur, si le trafic à la descente est prépondérant. Dans les autres cas, où la dépense d'eau est moins étroitement limitée, elle reste encore bien inférieure à celle qu'entraînerait l'emploi d'écluses à sas : on peut même, le plus souvent, la considérer comme accessoire, par rapport aux autres causes de déperdition, qui existent sur tous les canaux. Ainsi, au point de vue qui nous occupe, les plans inclinés et élévateurs présentent sur les écluses des avantages importants, et qui, dans certaines circonstances, peuvent devenir décisifs.

Question du temps perdu. — Examinons maintenant la question de la rapidité des opérations.

Il est facile d'obtenir une mesure comparative des avantages que présentent, comme rapidité de transit, les différents appareils d'élévation : il suffit de calculer, pour chacun de ces appareils, le temps que met un bateau pour s'élever ou s'abaisser d'une quantité donnée, un mètre par exemple.

Ainsi, avec une écluse à sas ordinaire, il faudra, chiffres

Digitized by Google

moyens 10 minutes pour racheter une chute de 3 mètres, soit 3 minutes = par mètre de hauteur.

Nous résumons, dans le tableau ci-contre, les données numériques relatives à la durée des manœuvres des divers appareils qui ont été décrits, ainsi que de l'écluse à sas prise ci-dessus comme type moyen.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur les conséquences à tirer de ces chiffres. Avec les écluses à sas, tout au moins en pays accidenté, l'élévation verticale des charges absorbe une partie considérable du temps dépensé au parcours. Avec les appareils mécaniques, l'élévation verticale ne prend qu'un temps assez faible; par conséquent l'accélération des transports devient praticable, et l'application de la vapeur au touage cesse d'être économiquement parlant, impossible.

Le temps total du passage, porté dans les colonnes du tableau ci-après, se compose, non seulement du temps consacré à l'élévation ou à la descente verticale du bateau, mais encore de toute la durée des manœuvres accessoires: entrée et sortie du bateau, fermeture des portes, etc.

En fait, ces manœuvres accessoires prennent toujours plus de temps que les déplacements verticaux eux-mêmes, aussi bien avec les écluses qu'avec les élévateurs: leur durée constitue une constante qui est indépendante de la hauteur d'élévation.

L'importance relative de cette constante est d'autant plus faible, que la hauteur rachetée est plus grande: aussi voyons-nous, à peu d'exception près, le temps moyen par mètre décroître à mesure que la hauteur totale augmente: de 400 secondes pour les 3 mètres de l'écluse à sas, ce temps se réduit à 15 secondes pour le plan du canal Morris, qui a 30 mètres de hauteur. C'est là, sans contredit, le principal avantage des

Digitized by Google

DÉSIGNATION DE L'APPAREIL. — DESCRIPTION SOMMAIRE.	CANAL MORRIS. PLAN N° 21. — Plan incliné à sec. Double voie. Double versant.	CANAL de L'OBERLAND. PLAN de Schönfeld. — Plan incliné à sec. Double voie. Double versant.	PLAN INCLINÉ de BLACKHILL. — Plan incliné à sas roulant, pour bateaux légers. Double voie. Simple versant.	PLAN INCLINÉ de GEORGETOWN. — Plan incliné à sas roulant. Simple voie. Simple versant.	ÉLÉVATEUR du GRAND-WESTERN-CANAL. — Élévateur vertical à deux sas équilibrés. (Transmission mécanique.)	ÉLÉVATEUR D'ANDERTON. — Élévateur vertical à deux sas équilibrés. (Transmission hydraulique.)	ÉCLUSE à SAS ordinaire. (Chiffres moyens.)
Hauteur rachetée	30m,50	24m,48	29m,28	11m,60	14m,02	15m,35	3m,00
Chargement maximum des bateaux	70 tonnes.	70 tonnes.	"	135 tonnes	8 tonnes.	100 tonnes.	170 tonnes.
Durée complète d'une opération	15′	15′	10′	16′	3′	19′	20′
Nombre de bateaux passant en même temps	2	2	2	1	2	2	1
Temps moyen par bateau et par mètre de hauteur	15″	18″	10″	82″	7″	37″	400″
Temps moyen par tonne de chargement et par mètre de hauteur	0″,21	0″,27	"	0″,60	0″,88	0″,37	2″,35

Digitized by Google

élévateurs mécaniques : ils permettent de franchir en une seule fois des différences de niveau que l'on serait obligé de morceler en un grand nombre de parties, avec les écluses à sas; or, à chaque chute partielle, la constante du temps perdu aux manœuvres accessoires se reproduit.

C'est, en définitive, avec les grandes hauteurs que les élévateurs, inclinés ou verticaux, acquièrent toute leur supériorité. Comme avantage corrélatif, une grande hauteur correspond à de grandes longueurs de biefs horizontaux, condition éminemment favorable à la rapidité des transports et au succès de la traction mécanique.

Telles sont les propriétés précieuses des appareils qui font l'objet de cette étude. Elles sont d'importance telle, que l'utilité de l'application immédiate peut sembler hors de doute dans un grand nombre de cas, et surtout pour les voies navigables nouvelles à construire en pays de montagnes.

Questions diverses. — Néanmoins, il ne sera pas hors de propos d'examiner la question de plus près, et de peser la valeur des objections qui peuvent se présenter.

Les écluses ont pour elles la simplicité de construction, la facilité d'entretien, la sûreté des manœuvres, qualités de premier ordre, qui résument une multitude de perfectionnements de détails, résultant d'une pratique deux ou trois fois séculaire.

Si, d'un côté, leur hauteur de chute est fort limitée, elles peuvent, d'autre part, recevoir des dimensions considérables en longueur et en largeur, et, par conséquent, admettre des bateaux de fort tonnage. Ce dernier point est d'une importance capitale, et il convient de s'y arrêter.

Digitized by Google

La tendance actuelle, au moins dans notre pays, est à augmenter la capacité des bateaux de canal. Le type de 300 tonnes doit être considéré aujourd'hui comme normal, et, quoique jusqu'à ce jour ce tonnage soit loin d'être atteint sur tous les canaux, il convient de le prendre comme chiffre de base pour tous les organes des grandes voies navigables à construire à neuf ou à remanier. Ce serait donc une lourde faute que de tolérer, dans les constructions nouvelles, des appareils ne permettant pas le passage des bateaux qui circulent sur les autres parties du réseau, et les obligeant à des ruptures de charge.

Pour rendre des services sérieux sur nos canaux, il faut que les élévateurs, quels qu'ils soient, écluses, ascenseurs ou plans inclinés, soient établis sur des dimensions telles, qu'ils admettent les bateaux de 300 tonnes de chargement utile.

Or les appareils décrits précédemment n'opèrent que sur des bateaux d'échantillon notablement plus faible : 70 tonnes pour les canaux Morris et de l'Oberland, 100 tonnes à Anderton, 135 tonnes à Georgetown. Ces mêmes appareils, convenablement amplifiés et perfectionnés dans leurs détails, pourront-ils faire un service aussi sûr et aussi régulier, quand les masses à déplacer seront doubles ou triples ?

Il ne faut pas se dissimuler que des difficultés nouvelles vont se manifester, à mesure que les dimensions s'accroîtront. Les forces à mettre en jeu seront plus considérables, les organes plus lourds et plus volumineux.

Cependant le problème ne semble pas se présenter dans des conditions tellement exceptionnelles qu'il ne puisse être résolu par les procédés ordinaires qui sont mis chaque jour en œuvre dans l'industrie.

Digitized by Google

La fabrication, l'ajustage et le montage des pièces de la plus grande dimension sont devenus aujourd'hui courants; les méthodes d'étude, de calcul et de tracé ont acquis une sûreté et une précision extrêmes. Ce sont là des moyens d'une puissance qui ne semble nullement hors de proportion avec les obstacles à surmonter.

D'autre part, l'étude attentive des appareils déjà en fonction est riche en enseignements précieux, et servira à éviter bien des mécomptes.

On ne saurait donc être imprudent en prédisant le succès à des expériences dirigées dans cette voie avec persévérance. La pratique viendra ensuite indiquer elle-même les défectuosités accessoires, les lacunes à combler, les perfectionnements à introduire.

Comparaison des divers systèmes. — Parmi les différents systèmes que nous avons passés en revue, il y a un choix à faire, et il ne sera pas inutile de résumer les considérations qui peuvent guider dans ce choix.

Nous nous trouvons, tout d'abord, en présence de deux procédés principaux : l'élévation du bateau échoué à sec sur une plate-forme, et l'élévation d'un caisson ou sas plein d'eau dans lequel le bateau flotte comme sur le canal.

Échouage à sec. — L'échouage à sec convient bien pour les bateaux de petite dimension (Grand-Western-Canal); il est encore acceptable, même pour des dimensions moyennes, lorsque tous les bateaux à passer ont les mêmes formes de carène; c'est le cas du canal Morris, et surtout du canal de l'Oberland prussien; ces canaux n'ont pas d'affluents navigables importants; ils constituent un réseau

Digitized by Google

local; les bateaux qui les fréquentent sont affectés spécialement à cette navigation; ils ont donc pu être tous taillés sur le même modèle, et les plates-formes d'échouage sont elles-mêmes moulées sur ce modèle uniforme.

Mais il y aurait de graves inconvénients à échouer sur une plate-forme de grands bateaux, variés de forme et de gabarit, tels qu'ils se rencontrent sur tous nos canaux; un appareil de ce genre ne saurait convenablement s'intercaler dans les mailles d'un réseau de voies navigables librement parcourues par des bateaux de tout échantillon.

Sas mobiles. — C'est donc au sas mobile qu'il paraît nécessaire de recourir, au moins dans le plus grand nombre de cas. Mais alors la difficulté mécanique s'accroît dans une proportion considérable. Le sas, y compris caisson, eau, train et organes divers, pèsera au moins deux ou trois fois plus que le chargement utile du bateau, c'est-à-dire qu'il atteindra des poids énormes. A Blackhill, on a tourné la difficulté, en ne se servant du plan que pour les bateaux vides; les bateaux chargés passent par les échelles d'écluses, latérales au plan incliné. Cette solution peut être praticable dans certaines circonstances particulières, mais elle ne saurait être regardée comme générale.

Ainsi donc, lorsqu'il s'agira d'élever des bateaux de 300 tonnes de chargement, on aura à mettre en mouvement des sas mobiles pesant 700,000 à 800,000 kilogrammes. C'est là une nécessité à laquelle il paraît impossible d'échapper.

On pourrait pousser plus loin l'étude de ces difficiles problèmes, et mettre en présence les deux systèmes principaux d'élévateurs : les ascenseurs verticaux d'une part, les plans

Digitized by Google

inclinés de l'autre. Chacun de ces deux systèmes présente des avantages et des inconvénients spéciaux, et le choix à faire entre eux, dans chaque cas particulier, résultera surtout de l'étude approfondie des circonstances locales.

Nous devons nous contenter de résumer les propriétés essentielles de l'un et de l'autre système.

L'élévation verticale peut être obtenue, soit au moyen d'une transmission mécanique par chaînes et poulies, comme au Grand-Western, soit par une transmission par l'eau comprimée, comme à Anderton.

Élévateurs verticaux mécaniques. — Le système du Grand-Western soulève de prime abord une objection d'une grande gravité : il n'a jusqu'ici été appliqué que pour de très petites barques; si donc il s'agissait de construire sur ce modèle un élévateur pour les bateaux de gros échantillons, on peut dire que les précédents feraient totalement défaut, et que l'appareil serait, à peu de chose près, à créer de toutes pièces. D'autre part, on ne voit pas, *à priori*, qu'une construction pareille puisse donner lieu à des difficultés insurmontables; le principe en est très simple, les organes d'une exécution courante; le jeu des poulies et des chaînes ne donne lieu qu'à peu de frottement et d'usure; la force mécanique et le volume d'eau à dépenser sont très faibles; les joints du sas avec les biefs sont faciles à obtenir; les mouvements se font d'aplomb et carrément; les chaînes agissent par traction, c'est-à-dire dans les meilleures conditions pour bien utiliser le travail du métal. Il y a là un ensemble de circonstances favorables, qui justifieraient une étude détaillée, et peut-être une expérience sur une échelle un peu grande.

Digitized by Google

Élévateurs hydrauliques. — L'élévateur hydraulique se présente dans des conditions toutes différentes; ici l'essai pratique, qui a une si haute valeur en pareille matière, est fait avec plein succès depuis plusieurs années, et sur des dimensions déjà considérables. Néanmoins, si l'on avait affaire à des bateaux de 300 tonnes, au lieu de 100 tonnes, il ne suffirait pas d'augmenter les dimensions de l'élévateur d'Anderton; il deviendrait, sans nul doute, nécessaire de reprendre à nouveau cette étude et, en s'aidant de l'expérience déjà acquise, de chercher les solutions des problèmes de mécanique assez délicats qui ne manqueraient pas de se présenter. Ainsi, les portes glissantes ne seraient probablement plus acceptables; il faudrait étudier avec soin le guidage, et s'efforcer de supprimer l'immersion du sas dans le bief aval, et la perte considérable de puissance qui en résulte.

Une question importante est le mode d'application de la force hydraulique. Si, comme à Anderton, on n'emploie qu'un piston par sas, il faudra donner à ce piston et à son cylindre des épaisseurs et un diamètre très grands, et l'exécution peut en être difficile; si l'on recourt à plusieurs pistons, il est nécessaire qu'ils marchent parfaitement d'accord : un sas reposant sur plusieurs pistons est un système en équilibre instable. Si l'un de ses bouts vient à baisser, l'eau s'y précipite, augmente la charge des pistons correspondants, et tend à aggraver le mal; il est donc indispensable d'empêcher un pareil effet de se produire, et peut-être ce résultat n'est-il pas commode à obtenir d'une manière simple.

Dans bien des cas, les élévateurs verticaux entraîneraient, comme annexe, la construction d'un pont-canal, qui

Digitized by Google

coûtera souvent assez cher. La chute que peuvent desservir ces appareils ne saurait atteindre de très grandes hauteurs; il semble que, pour les ascenseurs hydrauliques, il ne convienne guère de dépasser une vingtaine de mètres.

Plans inclinés. — Les mêmes restrictions ne paraissent pas s'imposer pour les plans inclinés. Celui de Georgetown ne rachète, il est vrai, que $11^{m},60$ de hauteur; mais on ne voit pas qu'il soit impossible d'appliquer le système à des hauteurs bien plus grandes. Les plans de Blackhill et du canal Morris ont 30 mètres de hauteur, et rien n'indique que ce soit une limite.

Les plans inclinés, dans leur parcours, suivent de très près la surface du sol; il semble donc que leur construction serait, en général, moins coûteuse que celle des élévateurs verticaux, qui exigent des guidages et des supports d'une grande hauteur. Par contre, les frottements des câbles des plans inclinés sur leurs poulies peuvent devenir très importants, si la longueur du plan est grande.

Pour les applications à faire sur nos canaux, les dispositions adoptées à Georgetown devraient sans doute subir des modifications analogues à celles indiquées ci-dessus à propos de l'élévateur d'Anderton. C'est avec raison, pensons-nous, qu'à Georgetown on a écarté, dans le haut, la disposition dite *summit plane;* mais il serait bien désirable qu'on pût, dans le bas, éviter l'immersion du sas. Pour desservir une circulation active, il conviendrait de remplacer les wagons-contrepoids par un second sas roulant, analogue à celui de Montet ou du plan de Blackhill.

Pour de grands sas, il semble indispensable de faire

Digitized by Google

porter les charges sur un grand nombre de roues, par l'intermédiaire de ressorts.

Il pourra, dans certains cas, être avantageux que la longueur du sas soit, non pas parallèle, mais perpendiculaire à la voie; celui-ci se déplacerait alors par le flanc, et non par le front, et les deux biefs à raccorder s'établiraient parallèlement aux courbes de niveau du sol, l'un au pied, l'autre au sommet du coteau à franchir.

Les indications qui précèdent sont le résumé des idées émises par les ingénieurs compétents, soit dans les discussions, soit dans les ouvrages spéciaux. En outre, de nombreux systèmes, nouveaux en tout ou en partie, ont été proposés dans ces dernières années; mais il serait hors de propos de s'arrêter à des dispositifs qui ne sont encore qu'à l'état de projet. Ce serait sortir du caractère de cette notice, qui doit être simplement une collection de renseignements.

Digitized by Google

Digitized by Google

LÉGENDES.

PLANS INCLINÉS DU CANAL MORRIS

(ÉTATS-UNIS).

Planche I.

Fig. 1, 2, 5. AA. Sas de droite.

BB. Sas de gauche.

DD. Roue motrice à augets.

EE^1E^2, etc. Chaîne principale.

FF. Poulie à gorge mue par la roue DD, par l'intermédiaire d'engrenages et d'un embrayage à changement de marche.

Fig. 3, 4. HH. Chariot mobile sur lequel s'échouent à sec les bateaux.

G. Poulie à gorge fixée vers la partie aval du chariot, et sur laquelle passe la chaîne principale E^1E^2, etc.

JJ. Chaîne auxiliaire.

La chaîne principale $EE^1E^2E^3$, etc. (fig. 2), s'attache au point fixe E, constitué par une poutre transversale fixée au radier du sas; après avoir passé sur des galets de support, elle se prolonge au delà de E^1E^2, s'enroule en E^3E^4 sur la poulie à gorge G, fixée au chariot de *droite*, remonte en E^5E^6, fait un demi-tour en E^7E^8 sur la poulie à gorge F, actionnée par la roue motrice, puis redescend en E^9 (fig. 2 et 4), passe sur la poulie du chariot de *gauche* et revient en E^{10} s'attacher au point fixe E^{11}, sur le radier du sas de gauche.

La chaîne auxiliaire JJ (fig. 3 et 7) s'enroule sur un galet fixe S, immergé dans le bief d'aval au bas du plan; elle roule, comme la chaîne principale, sur des galets de support (non figurés sur les dessins).

Digitized by Google

Fig. 2 et 7. KK. Voie du chariot de droite.
, LL. Voie du chariot de gauche.

Fig. 12. Profil en long du canal.

Fig. 13. Profil en travers normal.

Fig. 1, 2, 5. MMM. Cadres d'entretoisement des bajoyers.

Fig. 1, 2, 8, 9. NN. Portes d'amont, en forme de vannes glissantes, se logeant lorsqu'elles sont abaissées dans les fosses *a*.

Fig. 1, 2, 10, 11. OO. Portes d'aval du sas à rabattement, buttant, lorsqu'elles sont relevées, contre les arrêts *n*; sur le dos de ces portes sont fixés des bouts de rails, qui, lorsqu'elles sont abaissées, rétablissent la continuité des voies des chariots.

Fig. 1. P. Ventelles de vidange des sas; ces ventelles glissent sur le radier.

Fig. 2. Q. Petite roue à augets pour la manœuvre des portes d'amont; elle commande, au moyen d'engrenages et d'embrayages avec changement de marche, les deux axes bb (fig. 1, 8 et 9), lesquels agissent, au moyen de pignons, sur des crémaillères fixées à ces portes; sur les mêmes axes s'enroulent les chaînes oo, qui actionnent les ventelles de vidange P, de telle sorte que la rotation de l'axe bb détermine simultanément la fermeture de la porte qu'il commande et l'ouverture de la ventelle correspondante.

Fig. 1, 2. cc. Tringles en bois, guidées, fixées aux ventelles de vidange, et portant en tête un madrier vertical dd. Lorsque la porte d'amont s'abaisse, la chaîne o devient lâche; en même temps, l'eau qui déverse par-dessus la porte d'amont vient heurter le madrier d, qui forme barrage en travers du sas; elle presse ce madrier, qui se met en mouvement et ferme la ventelle; aussitôt que la ventelle est fermée, le courant d'eau prend en dessous la porte d'aval, la soulève et l'appuie contre ses arrêts.

Digitized by Google

Fig. 2. ee. Tampons de visite, permettant d'accéder au mécanisme placé sous les sas.

Fig. 1, 2. ff. Canaux de vidange des sas.
gg. Canal de fuite de la roue principale DD.
hh. Canal de fuite de la petite roue Q.

Fig. 3, 4. Les figures indiquent le mode de construction des chariots, la manière d'amarrer les bateaux, la disposition des roues, la disposition du câble principal et du câble auxiliaire, etc.

On remarquera que les trois paires de roues d'amont n'ont pas d'essieu commun, qui gênerait le passage de la chaîne principale.

Fig. 1, 2. R. Levier de manœuvre de la vanne de garde de la grande roue DD.
S. Levier de manœuvre de la vanne principale de la roue DD.
T. Levier du frein (voir le détail fig. 6); le frein appuie par son poids sur la jante de la roue DD, laquelle est garnie de fer.

Fig. 5. U. Arbre d'embrayage, muni à ses deux extrémités de griffes, faisant prise sur l'une ou l'autre des deux roues *kk*, pour produire le mouvement de la poulie à gorge F dans un sens ou dans l'autre.

Fig. 1, 2. V. Maison éclusière.
X. Plate-forme de manœuvre.

Fig. 2. xx. Chaînes renvoyant l'embrayage des mouvements des portes d'amont aux leviers de manœuvre (non figurés), lesquels sont groupés sur la plate-forme de manœuvre.

DISPOSITIONS ACTUELLES.

(Fig. 14 à 17.)

Fig. 18. Profil en long indiquant la disposition du sommet.

Digitized by Google

Fig. 17. Plan général.

A. Turbine motrice.

BB. Poulies de renvoi dans le haut du plan;

C. Poulie de renvoi dans le bas du plan.

DD. Deux paires de chariots;

EE. Câble en fil de fer.

Fig. 14. Dispositions des chariots accouplés, représentés au moment où ils franchissent le sommet du plan; chacun des deux trucs qui portent un chariot oscille autour d'une cheville, qui répartit également la charge sur les deux roues, quelle que soit la pente de la voie.

PLANS INCLINÉS DU CANAL DE L'OBERLAND (PRUSSE).

Planche II.

Fig. 1, 2. Dispositions générales.

A. Bief amont.

B. Bief aval.

$C_1 C_2$. Chariots roulants, sur lesquels les bateaux s'échouent à sec.

Fig. 1, 2, 3, 4. D. Tambours cannelés, sur lesquels s'enroulent les câbles en fil de fer qui agissent sur les chariots.

E. Roue hydraulique, agissant par engrenages sur le tambour D.

$F_1 F_2 F_3 F_4$. Poulies de renvoi des câbles principaux.

Fig. 1, 2, 5, 6. $G_1 G_2 G_3$. Poulies de renvoi des contre-câbles.

L'un des câbles principaux, attaché au chariot C_1, remonte le long du plan incliné, soutenu par des galets de support; puis il passe sur les poulies F_2 et F_1 qui le renvoient au tambour D; l'autre câble, partant du même tambour D, passe sur les poulies F_4 et F_3 pour aller s'attacher au chariot C_2.

Digitized by Google

Le contre-câble, amarré par ses deux extrémités aux deux chariots $C_1 C_2$, passe à l'aval sur le système des poulies $G_1 G_2 G_3$.

Fig. 2, 3, 4. HH. Conduite d'amenée d'eau du bief amont à la roue hydraulique.

Fig. 3, 4. KK. Vanne de garde cylindrique.

Fig. 3. L. Distributeur.

Fig. 1, 2, 3, 4. N. Conduite d'échappement du trop-plein.

Fig. 4. O. Embrayage pour changement de marche.

Fig. 3, 4. P. Frein à friction.

Fig. 1, 2. QQQ. Galets de support des câbles.

Fig. 1 à 6. RRR. Estacades et pilotis.

Fig. 1, 2. SS. Doubles files de rails à niveaux différents, pour maintenir l'horizontalité du chariot à l'immersion et à l'émersion.

Planche III.

Fig. 7. B. Bief d'aval.

Fig. 7, 8, 9. C. Chariot roulant.

aaa. Balanciers longitudinaux, répartissant le poids de la charge entre deux roues.

b. Volant de manœuvre des freins à main.

cc. Files de rails moyennes, régnant sur toute la longueur du plan incliné; elles reçoivent le bandage extérieur des roues d'arrière, et le bandage intérieur des roues d'avant du chariot roulant.

Fig. 7, 8, 9, 10, 11, 12. dd. Files de rails intérieures, régnant seulement dans le bas du plan incliné, et se relevant progressivement dans cette partie; elles reçoivent le bandage intérieur des roues d'arrière et échappent les roues d'avant; par suite, la partie arrière du chariot étant relevée par rapport au plan incliné, le chariot se trouve ramené à l'horizontale au moment de son immersion.

Digitized by Google

Fig. 10. Un dispositif analogue au précédent est établi sur la contrepente descendant dans le bief amont; mais ici c'est le rail extérieur e e surélevé qui reçoit le bandage extérieur des roues d'avant, et échappe les roues d'arrière.

Fig. 7. TT. Amarre du contre-câble.
F. Galet de roulement.

PLAN INCLINÉ DE GEORGETOWN

(ÉTATS-UNIS).

Planche IV.

Fig. 1, 2, 4, 5. A. Bief amont.

Fig. 1, 2. B. Bief aval.
C. Sas roulant.
DD_1D_2. Wagons-contrepoids.

Fig. 1, 1 *bis* et 2. aa. Voies du sas roulant.
$bb\,b^1b^1\,b^2b^2$. Voies des wagons-contrepoids.

Fig. 1, 2, 3, 4, 5. E. Tête du bief amont.

Fig. 1, 2. F. Tête du bief aval.

Fig. 1, 2, 4, 5, 6. G. Turbine motrice empruntant ses eaux au bief amont.
$H_1H_2H_3H_4$. Poulies et treuils, sur lesquels s'enroulent les câbles, et qui sont actionnés par la turbine motrice G.

Fig. 2 et 4. *Parcours des câbles.* — Le sas roulant C est tiré par deux câbles symétriques, attelés l'un au contrepoids D_1, l'autre au contrepoids D_2. Suivons le câble correspondant au contrepoids D_1. Il est amarré par une de ses extrémités au point fixe I, pris sur la tête du bief amont; il descend le long du plan, supporté par des galets; puis il fait un demi-tour sur la poulie I_1I_2 fixée au truc du contrepoids D_1; il remonte ensuite en I_3, fait trois circonvolutions autour des

Digitized by Google

poulies à gorges multiples H_1 et H_2, lesquelles sont actionnées par la turbine, et enfin redescend en I_5 pour s'amarrer au truc du sas roulant.

On retrouvera ci-dessous les dispositions de ce point d'amarre.

Fig. 3, 4, 5, 6. *Transmission entre la turbine et les poulies à gorges multiples.*

c. Axe de la turbine.

dd. Axe de transmission principale.

$e^1 e^2$. Roues d'angles, folles sur l'axe dd.

f. Manchon d'embrayage, coulissant sur l'axe dd, et faisant prise sur l'une des deux roues d'angle $e^1 e^2$, de manière à entraîner l'axe dd dans le mouvement de rotation direct ou rétrograde de l'une ou l'autre de ces deux roues.

ghk. Équipage des roues dentées, transmettant le mouvement à l'arbre de commande 11, qui agit à son tour, par des engrenages, sur les poulies à gorges $H_2 H_3$, lesquelles prennent des vitesses angulaires égales.

Fig. 3 à 7. *Appareil de rappel du sas.*

Le sas étant arrivé à l'extrémité de sa course, il s'agit de l'appuyer contre la tête du bief amont, de manière à produire un joint hermétique: tel est l'objet du mécanisme que nous allons décrire.

J. Pompe foulante actionnée par la turbine avec embrayage intermédiaire.

K. Accumulateur chargé par la pompe J.

L. Presse hydraulique pouvant, au moment voulu, être mise en relation avec l'accumulateur J, par la manœuvre du robinet m.

M. Système de câbles et de poulies mouflées, transmettant à la roue n, folle sur l'arbre l, le mouvement pris sur le piston de la presse L.

o. Manchon d'embrayage permettant de rendre solidaires la roue M et l'arbre I. La presse L étant mise en action et la

Digitized by Google

roue M embrayée, l'axe H prend un mouvement de rotation, qu'il transmet aux poulies à gorges H_2H_3, en tirant ainsi sur les câbles I, qui appuient le sas contre la tête du bief.

Fig. 3, 4, 5. N. Porte d'écluse à rabattement, fermant la tête du bief amont; elle est munie de deux ventelles à jalousie : l'une, plus petite, pour remplir l'espace vide existant entre la porte du bief et celle du sas; l'autre, plus grande, ayant pour objet d'achever le remplissage du sas, et que l'on manœuvre lorsque la différence des niveaux de part et d'autre de la porte est devenue assez petite.

p. Treuil de manœuvre de la porte.

q. Orifice fermé par un tampon, pour vider l'intervalle entre la porte du bief et celle du sas.

rr. Bourrelet en caoutchouc assurant l'étanchéité du joint entre la tête du sas et celle du bief.

Planche V.

Fig. 7, 8. CC. Sas roulant.

Fig. 7, 9, 10. P. Truc d'amont.

Fig. 7, 11, 12. Q. Truc moyen.

Fig. 7, 8, 13, 14. R. Truc d'aval.

Fig. 9. E. Tête du bief amont.
N. Porte à rabattement du bief amont.

Fig. 9, 11. $I_1I_2I_3$. Câbles.

Fig. 7, 9, 10. S. Porte de rabattement en fer du sas, tournant sur deux pivots en acier; elle se manœuvre au moyen du treuil s; elle est percée d'une ventelle à rabattement, manœuvrée par le volant t, qui agit sur un arbre horizontal portant deux petites poulies, sur lesquelles s'enroulent les chaînettes de manœuvre de la ventelle.

Digitized by Google

Fig. 7, 13, 14. T. Porte à rabattement d'aval, disposée comme celle d'amont, à part les ventelles qui sont au nombre de trois.

Fig. 11, 12. Les deux bouts $I_5 I'_5$ des câbles de traction viennent s'amarrer sur un bout de chaîne, passant sur deux poulies u u, fixées au truc, de telle sorte que les tensions de ces deux câbles sont toujours égales.

Frein de sûreté. — Les deux files de rails intérieures sont armées de crémaillères v v (voir aussi fig. 14 et 15), au-dessus desquelles sont suspendus les linguets x x; la suspension est produite par la traction d'un petit câble y y, amarré par ses deux bouts aux câbles principaux $I_5 I'_5$, et agissant, par le balancier z z, sur une transmission, pour soulever le contrepoids a. Si le câble casse, le contrepoids a tombe, et les linguets mordent dans les dents de la crémaillère.

Fig. 7, 8, 9, 13, 14. $\beta\beta$. Entretoisement supérieur, destiné à maintenir les parois latérales du sas contre la poussée de l'eau.

Fig. 16, 17, 18. D. Wagon-contrepoids.

$II_1 I_2$. Câble principal de traction.

U. Poulie sur laquelle vient se mouffler le câble principal.

Frein de sûreté. — Près des roues sont suspendus des sabots de frein j j, qui peuvent être actionnés par un contrepoids δ; celui-ci est soutenu par la poulie ε, sur laquelle agit le petit câble f f, frappé à ses deux extrémités sur le câble principal I.

ÉLÉVATEUR DU GRAND-WESTERN-CANAL

(ANGLETERRE.)

Planche VI.

A. Bief d'amont.

B. Bief d'aval.

C C. Sas mobiles.

D D D. Grandes poulies autour desquelles s'équilibrent les deux sas.

Digitized by Google

E. Porte levante de l'un des passages d'amont.

F. Porte levante de l'un des passages d'aval.

GG. Portes levantes des sas.

HH. Chaînes principales.

KK. Chaînes d'équilibre.

LL. Cadre sur lequel vient porter le sas en bas de sa course.

MM. Barre en fonte, qui appuie sur le fond du sas pour l'appliquer contre la tête du bief amont; elle est poussée par le verrin a, que manœuvre l'engrenage à main b.

NN. Chaînes et treuils de manœuvre des portes du bief amont.

c. Verrou pour établir la liaison entre la porte du bief et celle du sas.

OO. Treuils de manœuvre des portes du bief d'aval.

d. Ergots qui rendent solidaires les mouvements de la porte du bief et de la porte du sas.

PP. Commande par engrenage des grandes poulies DD; sur l'une des roues de cet équipage est monté le frein à main ee.

ÉLÉVATEUR HYDRAULIQUE D'ANDERTON

(ANGLETERRE).

Planche VII.

Fig. 1, 2, 5. A. Bief amont.
B. Bief aval.

Fig. 1, 2, 4, 5. C Petit bras de la rivière.

Fig. 1, 3, 5. D. Fosse de l'élévateur.

Fig. 1, 2, 3, 5. $E_1 E_2$. Sas mobiles.
$F_1 F_2$. Pistons des presses supportant les sas.
GG. Colonnes-guides.

Fig. 9, 10. ss. Patins-guides des sas le long des colonnes.

Digitized by Google

Fig. 1, 3, 4, 5. HH. Pont-canal.
III. Colonnes de support du pont-canal.

Fig. 1, 2, 3, 4, 5. KKK. Passerelle.
L. Cabine de manœuvre.
M. Accumulateur.

Fig. 1, 2. N. Bâtiment des machines et chaudières.

Fig. 1, 3. aa^1a^2. Cylindres des presses hydrauliques.
bb^1b^2. Presse-étoupe.
cc. Chambre et aqueduc d'accès des presse-étoupes.
dd. Contre-presse-étoupe destiné à empêcher l'irruption de l'eau de la fosse dans la chambre d'accès.

Fig. 1, 3, 5. ee. Consoles de support des poutres-maîtresses des sas.

Fig. 1, 2, 3, 5. ff. Patin de guidage des sas.

Fig. 1, 3, 5, 6. gg. Cadres-guides des portes du sas; ils servent à entretoiser les extrémités des poutres-maîtresses du sas et à supporter les poulies qui servent à la manœuvre des portes.

Fig. 1, 3, 5. α et β. Poulies de renvoi des chaînes des contrepoids.
$\gamma\gamma$. Contre-poids des portes du sas.
$\delta\delta$. Poulies de renvoi des chaînes de manœuvre.

Fig. 1, 2, 3, 5. $\varepsilon\varepsilon$. Treuils de manœuvre des portes des sas.

Fig. 3, 6. OO. Portes du pont-canal du côté de l'élévateur.

Fig. 1, 3, 5, 6. hh. Châssis supportant les poulies de manœuvre de ces portes.
$\delta\delta$. Poulies de renvoi des contrepoids de ces portes.
$\eta\eta$. Contre-poids.

Fig. 1, 3, 5. θ. Treuils de manœuvre.

Fig. 4. PP. Portes du pont-canal du côté du bief amont.

Fig. 1, 4, 5. ii. Supports des poulies de manœuvre de ces portes.
$\varkappa\varkappa$. Poulies de renvoi des chaînes des contrepoids.
$\lambda\lambda$. Contrepoids.

Digitized by Google

uu. Poulies de renvoi des chaînes de manœuvre.

vv. Treuils de manœuvre.

Fig. 1, 2, 3, 4, 5. QQ. Entretoisement supérieur du pont-canal.

RR. Portes du sas.

Ces deux portes joignent avec les portes *oo* sur des bourrelets en caoutchouc.

ζζ. Plan suivant lequel se fait le joint entre la tête du sas et celle du bief, par la compression d'un gros boudin en caoutchouc.

Fig. 1, 5, 7. ρρ. Siphons régulateurs pour maintenir le niveau dans le sas à une hauteur déterminée; le sas, en haut de sa course, peut se maintenir jusqu'en σ (fig. 6) sans que le siphon s'amorce, le sas étant au bout de sa course immergé dans le bief d'aval; les deux branches du siphon sont pleines d'eau; le mouvement d'émersion du sas, au moment où il s'élève, détermine une succion dans la branche extérieure, et, par suite, l'amorcement du siphon, lequel ne cesse de débiter que lorsque le plan d'eau dans le sas s'est abaissé jusqu'au niveau de l'orifice intérieur τ.

Fig. 8. *Tuyauterie.*

c. Chambre d'accès de la tuyauterie.

b. Presse-étoupe de la presse F_1 (fig. 3).

J^1. Conduite allant à la presse F_1 (fig. 3).

J^2. Conduite allant à la presse F_2 (fig. 3).

k. Clapet équilibré par deux pistons égaux *v* et *v*, passant à travers des presse-étoupes.

Ce clapet, muni d'une vis, est manœuvré par la transmission III (voir aussi fig. 1 et 3); quand ce clapet est ouvert, les deux presses communiquent ensemble et forment balance hydraulique; la fermeture partielle de ce clapet agit comme un frein pour modérer la vitesse des sas.

m^1. Tuyau de communication branché au-dessous du clapet k et servant à actionner la presse F_1 quand le clapet k est fermé.

Digitized by Google

m^2. Tuyau analogue pour la presse F^2.

n. Tuyau d'échappement remontant jusqu'à la cabine de manœuvre, où il est fermé par un robinet à la main du mécanicien.

o. Tuyau d'amenée de l'eau comprimée sous l'accumulateur.

p^1. Robinet permettant de faire communiquer l'accumulateur par le tuyau m^1 avec la presse F_1; il est manœuvré par la tige q^1 (voir aussi fig. 1) qui se termine par un volant dans la cabine de manœuvre.

Des organes analogues à n, p et q actionnent la presse F_2; ils sont cachés dans la fig. 8.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RETURN TO the circulation desk of any University of California Library

or to the

NORTHERN REGIONAL LIBRARY FACILITY
University of California
Richmond Field Station, Bldg. 400
1301 South 46th Street
Richmond, CA 94804-4698

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS
To renew or recharge your library materials, you may contact NRLF 4 days prior to due date at (510) 642-6233

DUE AS STAMPED BELOW

SENT ON ILL

APR 0 3 2007

U.C. BERKELEY

DD20 12M 7-06

Digitized by Google

YC 68775

M542476

TC763
H5

Digitized by Google

Digitized by Google